



Facultad de Ciencias Exactas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

TRABAJO FINAL de la Lic. en Química y Tecnología
Ambiental

**“EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y
SUS POTENCIALES EFECTOS FRENTE A
EVENTUALES EMERGENCIAS QUÍMICAS
EN ESCENARIOS URBANOS Y
SUBURBANOS DEL PARTIDO DE LA
PLATA”**

KARINA BEATRIZ BALBI

DIRECTOR: ANDRES PORTA

CODIRECTOR: YANINA SANCHEZ

2015

Agradecimientos

Este trabajo pudo gestarse gracias a la colaboración de muchas personas. En particular quiero agradecerle a Santiago, por todo lo que me aportó en conceptos de geografía; a Laura, por la información brindada; a José, que gentilmente me llevó a recorrer las instalaciones de su frigorífico; a Marcos y Esteban, por la generosidad con que compartieron sus saberes; a todos los entrevistados, por recibirme y contarme sus experiencias...

Y también mi gratitud para con Andrés, que confió en mí desde el principio y respetó mis tiempos; para Yani, la mejor guía intelectual, mi gran motivadora, mi “soporte técnico y emocional”, un ejemplo de dedicación y entusiasmo. Más no puedo dejar de decirle mil gracias a Ari, mi esposo, y a mis hijos, que me apoyaron y comprendieron durante este ambicioso anhelo de cursar una carrera universitaria en la adultez. Los amo.

RESUMEN

Las grandes ciudades suelen verse acompañadas de actividad industrial en su entorno y dentro del ejido urbano. Si bien el desarrollo industrial está directamente relacionado con la prosperidad y la calidad de vida, y es considerado la principal medida de progreso, también está asociado a preocupaciones como la contaminación y desastres imprevistos que podrían exponer a la población circundante a concentraciones atmosféricas no deseadas. Por lo expuesto, el desarrollo de herramientas predictivas que permitan determinar la población afectada por exposición a contaminantes atmosféricos, forma parte de las estrategias que optimizan el uso de los recursos frente a políticas ambientales y sanitarias no sostenibles, y constituyen un tema prioritario a nivel mundial.

En este trabajo, se aplica el software ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) para estudiar el impacto de potenciales emisiones gaseosas en el partido de La Plata, a fin de sumar conocimientos en la etapa de preparación frente a emergencias químicas. Esta propuesta plantea utilizar información disponible, a un costo razonable para la toma de decisiones en el marco de la protección de la salud humana. Para tal fin se realizó una exploración de eventos anteriores, caracterización de las industrias regionales y principales sustancias químicas involucradas en los procesos. Se relevaron también, las características topográficas y meteorológicas regionales. En función de la información recopilada, se aplicaron criterios de selección para estudiar escenarios potenciales de emisión con ALOHA. Como resultado, las salidas gráfica del software se volcaron sobre cartografía digital de la zona de estudio, generando mapas regionales de afectación frente a potenciales escapes de amoníaco en frigoríficos. Según estadísticas, este tipo de accidente es el de mayor ocurrencia y por esto se toma como caso ejemplificativo.

A partir del análisis de los resultados, se obtuvo información valiosa relacionada con los escenarios más desfavorables para la dispersión de la sustancia en cuestión, que puede ser utilizada en el estudio de poblaciones vulnerables tanto en la respuesta como en la planificación de emergencias químicas. Del mismo modo, los mapas obtenidos junto al análisis de fortalezas y limitaciones de la herramienta utilizada, exponen el aporte de los mismos para el desarrollo de protocolos específicos; así como dejan en manifiesto la necesidad de contar con inventarios de emisiones, caracterización de las fuentes de emisión y una estadística de la meteorología local.

INDICE

GLOSARIO	7
-----------------	----------

INTRODUCCION	8
---------------------	----------

1 EMERGENCIAS QUÍMICAS: DEFINICIONES Y SU ABORDAJE	8
1.1 ASPECTOS SOBRE LA SALUD	9
1.2 CONDICIONES PRE-IMPACTO	10
2 PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL PELIGRO	11
2.1 INVENTARIO DE PELIGROS	12
3 MARCO LEGAL Y NORMATIVO DE LA ARGENTINA	14
3.1 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELABORACIÓN DE UN MARCO NORMATIVO	15
3.1.1 COMPLEJIDAD TEMÁTICA/INSTITUCIONAL	15
3.1.2 COMPLEJIDAD DEL SISTEMA FEDERAL	15
4 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGO/VULNERABILIDADES POR COMUNIDADES	15
4.1 MAPEO	15
4.2 HERRAMIENTAS DE MODELADO	17
4.3 DESCRIPCIÓN	17
4.4 MODELOS QUE APLICAN A EMERGENCIAS QUÍMICAS	18
4.5 ALOHA (AREAL LOCATIONS OF HAZARDOUS ATMOSPHERES)	19

OBJETIVOS	21
------------------	-----------

METODOLOGIA	22
--------------------	-----------

1	ESTUDIO DE ANTECEDENTES DE ESCAPES DE FUENTES FIJAS EN EL PARTIDO DE LA PLATA	22
1.1	RELEVAMIENTO DE EVENTOS DOCUMENTADOS:	22
1.2	EXPLORACIÓN DE ANTECEDENTES EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE BUSCADORES ONLINE	22
2	RELEVAMIENTO DE FUENTES FIJAS POTENCIALES DE EMISIÓN EN LA REGIÓN DE ESTUDIO	22
2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES	23
3	GEO-REFERENCIACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN RELEVADAS	23
4	RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	23
5	RELEVAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y USOS DEL SUELO DEL ENTORNO A LA FUENTE DE EMISIÓN	24
6	DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS A MODELAR	25
6.1	SUSTANCIA QUÍMICA	25
6.2	EMISIÓN	26
6.2.1	CONTENEDORES	26
6.2.2	FUGAS	26
6.3	METEOROLOGÍA	27
6.3.1	CLASES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA	1
7	SIMULACIÓN CON ALOHA DE LOS POTENCIALES ESCENARIOS DE EMISIÓN.	29
7.1	ESCENARIOS DE RIESGO	32
	RESULTADOS Y DISCUSION	34
1	RELEVAMIENTO DE FUENTES FIJAS	34
2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FUENTES FIJAS	34

3	SELECCIÓN DE LA SUSTANCIA A MODELAR	35
3.1	IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA	36
3.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS	37
3.3	EFFECTOS PARA LA SALUD	37
3.4	CONFIGURACIÓN DE NP	38
3.5	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES	40
3.5.1	SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN CON AMONÍACO	40
	A CONTINUACIÓN SE PRESENTA UNA BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL, BASADOS EN LA UTILIZACIÓN DE AMONÍACO COMO REFRIGERANTE.	40
4	APLICACIÓN DE ALOHA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS	42
4.1	INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA EJECUCIÓN DE ALOHA	45
4.2	SALIDA DEL ALOHA	45
4.2.1	ANÁLISIS DE ESCENARIO CON CONDICIONES METEOROLÓGICAS PROMEDIO	46
4.2.2	ANÁLISIS DE ESCENARIOS DESFAVORABLES PARA LA DISPERSIÓN DEL AMONÍACO	48
4.2.3	ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS	60
4.3	ANÁLISIS DE FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE ALOHA PARA LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS	60
	CONCLUSIONES	62
	REFERENCIAS	64
	ANEXO I	70
	ANEXO II	72
	ANEXO III	77

GLOSARIO

Amenaza: Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones y otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos o daños al ambiente.

Contaminante: Sustancia que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que lo hace a niveles que pueden causar efectos (adversos) para la salud o el medio ambiente. Dispersión se refiere al proceso mediante el cual una nube de gas contaminante se extiende en la atmósfera, mezclándose con el aire, y diluyéndose eventualmente a niveles inferiores a los considerados peligrosos.

Exposición Aguda: Se entiende como un simple contacto con la sustancia y tóxica que dura desde pocos segundos, minutos o hasta 24hs.

Fuga: Cualquier liberación de sustancias tóxicas, en la que la cantidad liberada pueda ser suficiente para alcanzar una concentración igual o por arriba del nivel que representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana (IDLH), en áreas aledañas a la fuente emisora.

Huella: La huella generada por ALOHA representa una vista general del área en la cual se predice que la concentración de contaminante a nivel de suelo va a exceder su Nivel de Preocupación (AEGL), en un momento determinado luego del inicio de la descarga.

Nubosidad: Es la fracción del cielo que se encuentra cubierto por nubes. ALOHA utiliza una escala mediante la cual puede medir la nubosidad en décimas.

Peligro: Parámetro intrínseco de un fenómeno o proceso determinado, indica su capacidad de producir daños.

Riesgo: Probabilidad de que una población o una instalación física sufran daños como consecuencia de la acción de un agente productor.

Tóxico: Es “toda sustancia química que, incorporada al organismo vivo a determinada concentración, produce a través de mecanismos fisicoquímicos y bioquímicos, alteraciones de la función celular, transitorias o permanentes, siempre incompatibles con la salud y en algunos casos con la vida”.

Vulnerabilidad: Nivel de exposición de una población y/o equipamiento a un peligro determinado.

INTRODUCCIÓN

1 EMERGENCIAS QUÍMICAS: DEFINICIONES Y SU ABORDAJE

El término emergencia química es utilizado para referirse a un evento que resulta en la emisión no controlada de una o varias sustancias peligrosas para la salud humana, el ambiente y las construcciones edilicias, con costos económicos asociados importantes. En este marco se incluyen incendios, explosiones, fugas o descargas de sustancias tóxicas.

El impacto de la emergencia química puede ser descrito desde la perspectiva de la evaluación de riesgo: amenazas, vulnerabilidades y capacidades. El riesgo asociado a una sustancia química se define como la probabilidad de que dicha sustancia produzca daño a un organismo bajo condiciones específicas de exposición. De igual manera, si se relaciona con incidentes que involucran sustancias peligrosas, sería la probabilidad de la ocurrencia de este tipo de evento con sus efectos correspondientes sobre la salud y/o el ambiente [1].

Si bien la contaminación del agua, suelo, aire, alimentos, etc. que resulta de una emergencia química puede afectar a poblaciones dispersas, a menudo la población expuesta se encuentra dentro o muy próxima a una zona industrial. Así, por ejemplo, en áreas urbanas los habitantes expuestos pueden estar en las cercanías de un vehículo accidentado que transportaba sustancias peligrosas [2].

Frente a una emergencia química, es necesario conocer el proceso por el cual se producen los efectos sobre la comunidad impactada, y de este modo, identificar las condiciones “*pre-impacto*” que hacen a las poblaciones vulnerables. De esta manera, conocer la información relacionada con el proceso en sí (características de la amenaza), sumada a la proveniente de los distintos segmentos de las comunidades afectadas tales como hogares de bajos ingresos, minorías étnicas, entre otros (Vulnerabilidades), permite planificar una intervención eficiente frente a la ocurrencia de un incidente [3].

Los especialistas en la materia postulan que para mejorar la respuesta frente a una emergencia es necesario mejorar la preparación. La planificación se basa en un análisis de los riesgos y está estrechamente vinculada con los sistemas de alarma temprana. La preparación incluye la planificación de contingencia, el almacenamiento de equipos y suministros, el establecimiento y/o el mantenimiento de servicios de emergencia y una estructura en estado de alerta,

comunicaciones, una estructura de gestión de la información y coordinación, la capacitación del personal, la planificación a nivel de la comunidad y los entrenamientos, entre otros. Sin embargo, este conjunto de pautas no puede cumplirse en su totalidad, si se desconocen los procesos involucrados en el lugar del evento, las características de la fuga o derrame, cómo se dispersa la pluma, y su potencial impacto sobre la población. Este desconocimiento puede incurrir en el inapropiado uso de los recursos (situación preocupante en países en vías de desarrollo, donde los recursos son limitados) y la toma de decisiones no acertadas, entre otros [1].

Finalmente, para obtener respuestas eficientes a situaciones de emergencias, se requiere de una estrecha coordinación y colaboración con otros sectores para garantizar que las necesidades sean atendidas, que no se dupliquen los esfuerzos, que se utilicen los recursos de manera óptima y que la calidad de los servicios sea adecuada[4]. Del mismo modo, es necesario contar con una simulación que represente eficazmente al fenómeno para facilitar una evaluación temprana de los alcances de la emergencia y del grado de impacto sobre la población y los bienes.

1.1 Aspectos sobre la Salud

En el caso de muchas sustancias químicas, los efectos biológicos y/o de salud, después de una exposición aguda pueden ser muy diferentes de los producidos por una exposición crónica o intermitente a nivel menor. El mejor ejemplo es el caso del benceno, cuyos efectos ante exposición aguda consisten predominantemente en toxicidad del sistema nervioso central, mientras que la exposición crónica a bajas concentraciones puede resultar en la depresión de la médula ósea.

Aunque las exposiciones agudas se han definido con una duración no mayor a las 24 horas, cuando ocurre un evento químico, suele ser difícil determinar el momento exacto en que se inició la exposición. Primero es necesario aclarar si de hecho existió exposición; y si así fuera, durante qué período estuvieron expuestas las personas.

En la mayoría de los casos, los síntomas y signos que manifiestan las víctimas de eventos químicos son inmediatos o retardados entre una y dos horas. Sin embargo, en algunas situaciones y dependiendo de las características de toxicidad de las sustancias liberadas, puede haber manifestaciones día, semanas, meses o aún años después de una exposición aguda [2, 5].

1.2 Condiciones pre-impacto

Las tres condiciones pre-impacto más relevantes, se describen a continuación a través de los modelos que proponen Cutter [6], Lindell y Prater [7]:

1. Exposición al Peligro
2. Vulnerabilidad Física
3. Vulnerabilidad Social

La relación entre las mismas se describe esquemáticamente en la Figura 1.

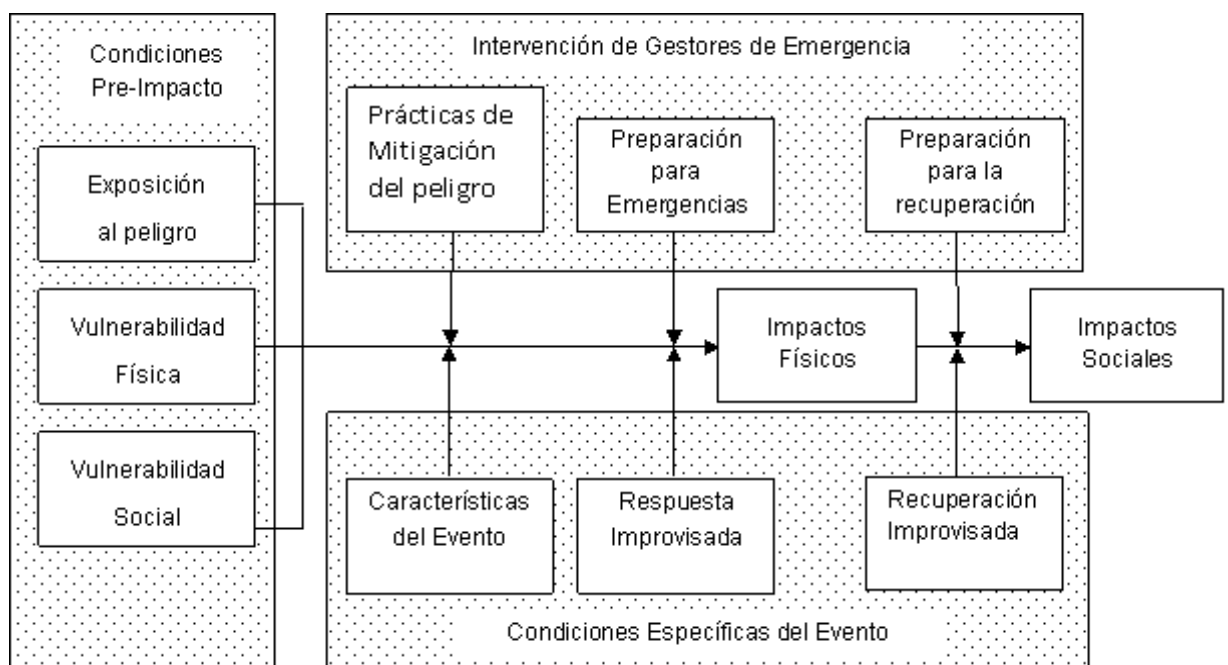


Figura 1: Relación de condiciones Pre-impacto.

Los impactos físicos pueden reducirse mediante prácticas de mitigación de riesgos y prácticas de preparación para emergencias.

- a) **Exposición al Peligro:** referidas a peligros NO naturales, la exposición surge si los habitantes se desplazan en áreas donde podrían estar expuestos a la liberación de materiales peligrosos. En principio, la exposición de Riesgo puede ser medida por la probabilidad de ocurrencia de magnitud de un evento determinado. Vale aclarar que en general, los datos históricos son insuficientes para estimar la probabilidad de un evento inusual.

b) **Vulnerabilidad Física:** incluye dos categorías, a saber:

- ✓ *Vulnerabilidad Humana:* entendiendo que los humanos somos vulnerables a condiciones ambientales extremas de temperatura, presión y a exposición a sustancias químicas que puedan causar enfermedad, injuria y muerte. Para cualquier agente peligroso (agua, viento, tóxicos químicos, infecciosos) existe variedad en la respuesta fisiológica de la población afectada.
- ✓ *Vulnerabilidad Agrícola:* considera a los cultivos y a los animales tan vulnerables como los humanos. Existen muchas diferencias entre individuos, especies, etc. Sumado a la complejidad que surge al evaluar los vegetales y sus características frente a los muy variados agentes de stress ambiental.

c) **Vulnerabilidad Social:** se presenta cuando, por ejemplo, las viviendas no proporcionan una barrera impermeable a la infiltración de los contaminantes tóxicos del aire. Como concepto la “vulnerabilidad social” se define en términos de la “capacidad de la gente para prever, enfrentar, resistir y recuperarse de los impactos de un peligro”. Se refiere a su susceptibilidad a los cambios de comportamiento dada una noxa externa. La distribución de la “calidad de vida” no es aleatoria la vulnerabilidad social varía entre comunidades y también a través de hogares dentro de esa misma comunidad [3].

El recuadro *Condiciones específicas del Evento*, que se muestra en la figura 1, pone de manifiesto la dificultad de caracterizar cada impacto debido a que un agente peligroso puede iniciar una *serie de amenazas* diferentes.

Tanta variabilidad es lo que más preocupa a los gestores de emergencia locales, ya que se requiere identificar áreas con segmentos de población que presentan mayor nivel de vulnerabilidad.

2 PRÁCTICAS PARA MITIGAR EL PELIGRO

Una forma de reducir los impactos físicos de emergencias químicas (y otros desastres) es adoptar prácticas de mitigación de peligro. Estas pueden definirse como acciones “pre-impacto” que protegen pasivamente contra daños y muerte al momento del impacto peligroso (en contraposición a una respuesta activa en una emergencia) [3].

El control de la fuente del peligro es una forma directa de reducir su magnitud o duración.

Como bien define Herrero en la literatura Documento País 2012 [8], “los eventos perjudiciales para el ser humano acontecen cuando los riesgos no se gestionan. Acciones que reducen la vulnerabilidad de la vida y el hábitat (no solo aumentar la resiliencia y estar preparados para responder), deben contemplar la PLANIFICACIÓN. Esta tiene por objeto contribuir al diseño, implementación, monitoreo y evaluación de estrategias y políticas, y también al desarrollo de las capacidades institucionales y sociales para el manejo de situaciones de riesgo por desastres naturales o antrópicos”.

La disminución de riesgos en situaciones de emergencias químicas es una cuestión *transversal*, que requiere un compromiso político, la comprensión de la comunidad y el conocimiento científico-técnico conjugados en el marco de una planificación responsable [8].

2.1 *Inventario de peligros*

Los inventarios de peligros son una herramienta importante para identificar posibles situaciones de emergencia. Los planificadores deben disponer de la información sobre la naturaleza de los accidentes químicos que podrían ocurrir y de la población potencialmente expuesta en caso de un accidente. Estos datos son necesarios para asegurar tener disponible la capacidad de respuesta más adecuada.

Incluso cuando se organizan o planifican aspectos relacionados con la salud, en respuesta a una emergencia química, es imprescindible contar con información sobre las cantidades de sustancia/s presentes en las instalaciones, al igual que los procesos que se ejecutan en ellas.

Los primeros en responder necesitan poder obtener con rapidez información en el escenario del accidente (agentes químicos involucrados, población bajo riesgo y otros) Resumiendo, a continuación se describe la información más descriptiva que debería estar incluida en un inventario:

- ✓ Localización de concentraciones relevantes de sustancias
- ✓ Número de trabajadores en instalaciones particulares
- ✓ Número de habitantes en el área o región
- ✓ Ubicación de escuelas, hospitales, centros comerciales, terminales de transporte o sitios de mayor densidad de personas
- ✓ Suministro de agua

Varias actividades de Inventario debería preceder a la acción en respuesta de emergencias químicas. Así, por ejemplo, se seleccionará la información apropiada sobre las sustancias y sus efectos, los puntos de alto riesgo, procesos y actividades, qué sustancias químicas pueden liberarse, en qué forma y cantidades [2].

CIQUIME (Centro de Información Química para Emergencias) se creó en 1991 como un servicio público para los equipos de emergencia, como son Bomberos, Policía, Defensa Civil, Gendarmería y Prefectura, que necesitan obtener información especializada durante la ocurrencia de incidentes con mercancías peligrosas. Posteriormente, se incluyó a empresas que manipulaban materiales peligrosos. A partir del año 2010, CIQUIME comenzó a operar bajo la modalidad de Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL).

Dentro del marco nacional, CIQUIME tiene como función principal brindar información integral, directa e inmediata sobre conductas a seguir en caso de eventos que involucren sustancias químicas.

Adicionalmente, CIQUIME es el responsable técnico para el desarrollo de la Edición en Español de la Guía de Respuesta a Emergencias (GRE), en forma conjunta con el Departamento de Transporte de Estados Unidos (U.S. DOT), el Departamento de Transporte de Canadá (Transport Canada), y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT).

Entre la producción de este Centro, puede citarse a algunos reportes de emergencias químicas [y a un informe estadístico sobre accidentes con materiales peligrosos ocurridos desde 1991 hasta 1998 [9].

En este último, se consignaron 190 accidentes, considerando únicamente aquellos eventos que cumplieran con información suficiente y que presentaban una complejidad pertinente a analizar. Los criterios de selección se enmarcaron en que:

- ✓ la cantidad de producto químico liberado sea superior al “límite reportable” establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA),
- ✓ la liberación del producto químico haya producido daños sobre la salud de, al menos, una persona (exposición, intoxicación o muerte), y/o
- ✓ el daño estimado fuese superior a los U\$S 50000.

Como información relevante del citado informe, se concluye que en Argentina:

- Los accidentes químicos ocurren mayoritariamente en instalaciones fijas (principalmente fábricas y depósitos), durante los días hábiles y en la franja horaria de 8 a 17 hs.

- Los productos con mayor incidencia son los líquidos, pero los productos en estado gaseoso son los más peligrosos debido a la dificultad de controlarlos y la gran superficie que ocupan una vez dispersos.
- La principal vía de ingreso al organismo es la respiratoria. La mayor cantidad de víctimas resultaron intoxicadas por productos gaseosos.
- Los accidentes ocurren principalmente en zonas industriales ubicadas en áreas densamente pobladas.

En relación a las sustancias que aparecen involucradas con mayor frecuencia, se elabora el siguiente cuadro:

Tabla 1: Listado de sustancias involucradas en eventos no deseados de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia, cantidad emitida e impacto sobre la salud y los bienes [9].

Orden de aparición	Producto químico
1	Amoníaco
2	Ácido clorhídrico
3	Plaguicidas Organofosforados
4	Alcoholes
5	Ácido Sulfúrico
6	Ácido Acético
7	Ácido Nítrico
8	Dióxido de Azufre
9	Cloro
10	PCB

3 MARCO LEGAL Y NORMATIVO DE LA ARGENTINA

La legislación actual se vincula a situaciones particulares de desastres y de emergencias, tras la ocurrencia de eventos concretos. Es decir que la normativa resulta de carácter más reactiva que prospectiva.

La República Argentina carece de una ley que aborde específicamente la Gestión de riesgo de Desastres. Solo en el marco normativo se dan leyes y decretos. Por ende, esta “fragmentación” normativa se traduce en la falta de enfoque integral y compartido por todos los *actores* del gobierno respecto de la gestión de riesgo [8].

3.1 Principales Factores que influyen en la Elaboración de un Marco Normativo

3.1.1 Complejidad Temática/Institucional

La gestión integral de riesgo (de desastre) no limita su accionar a la respuesta a la emergencia sino que incorpora en su perspectiva las tareas de Prevención, Preparación, Mitigación, Alerta, Reconstrucción y por último Rehabilitación. Esta integridad de enfoque requiere de la participación de múltiples áreas y sectores. Algunos juegan un rol fundamental en preparación o atención de emergencia; otros lo hacen en la prevención (mirada a más largo plazo).

3.1.2 Complejidad del Sistema Federal

Existe un sistema federal de gobierno, que se ordena en tres niveles: nacional, provincial y municipal. De hechos esta es una particularidad del sistema jurídico argentino: ya que los distintos niveles pueden considerarse subsistemas que se relacionan entre sí, mantienen jurisdicciones y competencias diferentes. A veces, incluso, se superponen. Por otro lado, las jurisdicciones y competencias en distintas materias (particularmente en lo referido a cuestiones ambientales, hídricas y de ordenamiento territorial) son determinantes al profundizar y/o acotar la estructura normativa del sistema jurídico argentino para el análisis de situaciones concretas, ya que fija a quien le corresponde gestionar, a quien legislar y con qué atribuciones y límites.

Por otra parte, el art. 124 de la Constitución Nacional establece que le corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en sus dominios, por lo tanto, tienen competencia para dictar sus propias normas. Es así como CABA (Ciudad Autónoma de Bs. As.) y 23 provincias se organizan a través de sus propias constituciones, lo que representa otro obstáculo en la gestión de emergencias que traspasan límites jurisdiccionales.

4 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGO/VULNERABILIDADES POR COMUNIDADES

4.1 Mapeo

Existe variación regional en cuanto a la exposición a riesgos naturales. Asimismo, la evaluación de riesgos específicos de las comunidades y la vulnerabilidad a los

impactos implican el análisis de un conjunto de datos de diverso origen. Una fuente muy útil de información sobre la incidencia local de estos peligros consiste en un conjunto de mapas que permitan describir la exposición, los riesgos tecnológicos, las características meteorológicas entre otros. El conocimiento de los mapas por parte de gestores de emergencias facilita la implementación de acciones tendientes a mitigar los impactos físicos y sociales sobre la población expuesta.

En base a prácticas realizadas en otros países (Estados Unidos, por ejemplo) resulta de vital importancia el *Mapeo de Sustancias Peligrosas*. Los incidentes que involucran liberación/fuga de sustancias químicas pueden iniciarse por causas internas (accidente o sabotaje) o externas (eventos geofísicos, meteorológicos, de tipo hidrológicos o ataques terroristas) [9].

Cuando el evento se inicia en una industria, sus consecuencias y probabilidad de ocurrencia deberían ser evaluadas mediante un análisis de riesgo.

Este proceso comienza con:

- | | | |
|--|---|--|
| a) Identificación de la sustancia peligrosa | } | Datos que deberían
figurar en el
INVENTARIO |
| b) Localización | | |
| c) Cantidades almacenadas | | |
| d) Uso de la información para plantear la amenaza
(aplicada a sus instalaciones, trabajadores, vecinos y ambiente) | | |

De aquí la importancia de contar con mapas detallados.

Al estimar la amenaza que estos químicos suponen para la instalación, sus trabajadores, sus vecinos y el medio ambiente, se definen las llamadas Zonas Vulnerables (ZV). Estas se pueden calcular a partir de datos sobre la toxicidad de la sustancia química, la cantidad disponible para la liberación, el tipo de derrame (líquido o gaseoso), la duración de su liberación (por ejemplo, 10 minutos), cuáles son las condiciones meteorológicas (velocidad del viento y la estabilidad atmosférica), y del terreno (urbano o rural). Los métodos disponibles incluyen cálculos manuales [10], o la aplicación de ALOHA [11]. Una vez que los radios de las ZV para los diferentes productos químicos se han calculado, estos pueden ser superpuestos en un mapa con el punto de liberación en el centro del círculo y el radio trazado alrededor de él (ver Figura 2).

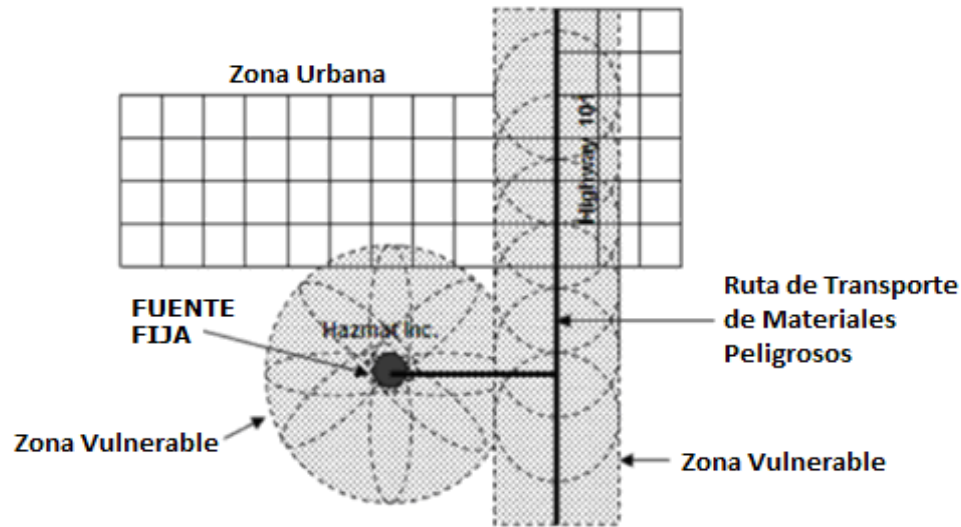


Figura 2: Representación Esquemática de Zonas Vulnerables

4.2 HERRAMIENTAS DE MODELADO

4.3 Descripción

Teniendo en cuenta aquellas industrias que almacenan, utilizan o procesan sustancias químicas, debe considerarse que durante un evento no deseado, las etapas más importantes son: la *emisión* y la *formación de nubes*.

Las características de las emisiones (cantidad liberada, dinámica de la atmósfera, condiciones del entorno, entre otros), determinan la dirección, persistencia y alcance de las nubes, cuyas consecuencias finales dependen de los elementos vulnerables presentes, pudiendo afectar a zonas muy extensas.

La **modelización** de estos incidentes constituye un aspecto básico de la prevención y protección, dado que el nivel y la extensión de las consecuencias permiten establecer la proporcionalidad de las medidas necesarias para evitarlas o mitigarlas [12].

Para evaluar el alcance de consecuencias, se dispone actualmente de numerosos modelos informáticos [13-14], que partiendo de las características de la sustancia y de las condiciones del equipo accidentado (volumen, cantidad retenida, orificio de fuga, etc.) determinan la cronología de la emisión (instantánea o continua). El resultado se introduce en el módulo de dispersión, que necesita también las variables meteorológicas responsables del transporte y la dilución de la nube, proporcionando información sobre los parámetros característicos de la misma,

tales como perfiles concentración-tiempo concentración-distancia, dosis-distancia [12].

4.4 Modelos que aplican a Emergencias Químicas

Existe una serie de modelos que sirven para evaluar escenarios de emergencias y planificar la respuesta a las mismas. En general se caracterizan por trabajar sobre un tipo específico de modelo de dispersión de aire que se ocupa de fugas o liberaciones de índole accidental.

Algunos ejemplos se describen brevemente a continuación [15]:

- SLAB View (Emergency Release Dense Gas Model): es una interfaz gráfica del modelo SLAB, modelo de dispersión atmosférica para gases más densos que el aire. Se considera una herramienta muy útil para predecir las zonas peligrosas y los impactos potenciales de las emisiones accidentales, ya que permite mostrar cómo se desarrolla la liberación a través del tiempo, así como cuál será la huella global de la liberación.
- CBRNE Web (Chemical Biological Radiological Nuclear & Explosive Model): proporciona información sobre liberación de agentes químicos, biológicos, radiológicos y nucleares, brindando soluciones de modelado de los mismos y haciendo previsión de potenciales explosivos. Agrega datos a sistemas de mando y control ya existentes.
- SEVEX View (Emergency Release Dense Gas Model with Complex Terrain): es un modelo 3D para modelar gases densos que avanzan en un terreno complejo. Este modelo es extremadamente poderoso, capaz de proporcionar información muy realista respecto del entorno del accidente.
- ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres): es un modelo de respuesta a emergencias destinado principalmente para el despliegue rápido de respuesta, así como para su uso en la planificación previa de emergencia. Incorpora datos como intensidad de la fuente, y aplica tanto modelos Gaussianos como de gases densos. Posee además una extensa biblioteca de propiedades químicas.

La principal diferencia entre los ejemplos presentados, más allá de las potencialidades propias para la modelización del fenómeno que se presentaron brevemente, es que los primeros tres son software comerciales y el último es de acceso gratuito.

Dado que posee una interfaz amigable, que la información de entrada es acotada y relativamente de fácil acceso, es que ALOHA es un software ampliamente utilizado en el sector público y privado.

4.5 ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*)

ALOHA [11] es utilizado principalmente en emergencias para el despliegue rápido en la etapa de respuesta, así como para su uso en la planificación previa a la emergencia. Es una marca registrada por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de tal país (US EPA). En la actualidad, ALOHA es aplicado por muchos organismos gubernamentales, consultoras y universidades para estimar en forma rápida la dispersión de los contaminantes y su impacto sobre la población [16-22].

Este software se diseñó pensando en los primeros respondedores de emergencias y desastres, considerando que no suelen tener experiencia en el modelado de la dispersión atmosférica. De este modo, ALOHA es extremadamente fácil de usar y posee menús desplegables con indicaciones, y mensajes de advertencia y precaución. Se ejecuta en sistema operativo Windows.

ALOHA posee un interesante modelo de emisión a través del cual puede predecir las tasas con que las sustancias químicas pueden escapar a la atmósfera, desde tuberías rotas de gas, fugas de tanques, chimeneas y charcos en evaporación. La dispersión de los contaminantes en aire es estimada bien por un modelo de gases densos o por un modelo gaussiano. Cuenta con una extensa biblioteca de propiedades químicas que facilita la aplicación del software, pero también dispone de la opción de carga de nuevas sustancias y propiedades químicas. Los resultados del modelo se presentan tanto en formato de texto como gráfico. Este último representa el área de afectación a sotavento de la emisión, diferenciando zonas en donde las concentraciones pueden exceder un nivel umbral establecido por el usuario (Ej: AEGL, TEEL, ERPG, etc.). Las salidas gráficas del software, bajo la extensión de *.kml, pueden importarse desde cualquier sistema de información geográfica (SIG) y mostrarse como una capa más sobre el mapa del escenario en cuestión. ALOHA hace uso también de información meteorológica para estimar la dispersión de los contaminantes, y esta puede provenir desde estaciones de monitoreo portátiles [12].

Los cálculos de ALOHA representan un compromiso entre exactitud y velocidad de ejecución: se ha diseñado para que genere buenos resultados con la suficiente rapidez y que pueda utilizarse en la etapa de respuesta a emergencias químicas.

Como cualquier modelo, ALOHA no puede ser más preciso que la información que se le suministra para trabajar. Pero, aun cuando se ingresa información fiable a la

entrada del modelo, ALOHA no puede garantizar la bondad de sus resultados bajo ciertas condiciones que se describirán a continuación:

- ✓ Velocidades de viento muy bajas,
- ✓ Condiciones atmosféricas muy estables, y
- ✓ Cambios de la dirección del viento y efectos de conducción del terreno.

Finalmente, es importante aclarar que ALOHA no da cuenta de los efectos frente a incendios o reacciones químicas, material particulado y relieves complejos [11].

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo consiste en la aplicación del software ALOHA para realizar un estudio de potenciales emisiones gaseosas en zonas de afectación del partido de La Plata.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar antecedentes de escapes no deseados de fuentes fijas en el área del Gran La Plata.
2. Relevar las fuentes fijas potenciales de emisión en la región de estudio, la información meteorológica y las características topográficas del entorno.
3. Analizar y aplicar criterios de selección de la información recopilada.
4. Simular con el software ALOHA posibles escenarios de emisión, evaluando las áreas impactadas y la población vulnerable a tales escapes.
5. Interpretar la influencia de diferentes parámetros en la dispersión de las sustancias contaminantes seleccionadas
6. En base a lo empírico, describir las fortalezas y limitaciones de ALOHA como herramienta en etapas de planificación y respuesta a emergencias.

METODOLOGÍA

1 ESTUDIO DE ANTECEDENTES DE ESCAPES DE FUENTES FIJAS EN EL PARTIDO DE LA PLATA

1.1 Relevamiento de eventos documentados:

A través de diversas entrevistas con actores competentes en la Respuesta y Planificación a Emergencias, se intentó recoger información de eventos ocurridos en la zona de estudio. Enumerándolos:

- Ensenada: Miguel Angel Cepero. Coordinador de Defensa Civil. Secretaría de Seguridad y Justicia. Municipalidad de Ensenada.
- Berisso: Carlos Abalo. Departamento Ambiente de Berisso.
- La Plata: Lic. Soledad Fumagali. Agencia Ambiental La Plata.

1.2 Exploración de antecedentes en medios de comunicación a través de buscadores online

Se realizó una extensa búsqueda de información sobre eventos de fugas o escapes, como se muestra en el ANEXO I.

Las fuentes online visitadas fueron, entre otras: diarios (Clarín, el Día, La Nación, Hoy de La Plata, entre otros)

Del conjunto de antecedentes se seleccionan aquellos que aportan datos estadísticamente significativos, o bien brindan información cualitativa y cuantitativamente relevante.

2 RELEVAMIENTO DE FUENTES FIJAS POTENCIALES DE EMISIÓN EN LA REGIÓN DE ESTUDIO

La búsqueda apuntó a fuentes de emisión industriales del partido de La Plata, por considerarse fuentes que representan escenarios probables de emergencia dado los niveles y tiempos de actividad, entre otros. Para tal fin, se solicitó información de

nombre, tipo de actividad industrial y dirección; a la Unión Industrial de La Plata y al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible.

En base a la información recopilada se confeccionó un listado de fuentes fijas, escogiendo aquellas plantas industriales potenciales a experimentar un evento químico no deseado.

2.1 Descripción de los Procesos Industriales

Se caracterizaron los procesos industriales que involucran la manipulación de sustancias químicas tóxicas, tanto en la producción en sí misma como en parte accesoria al proceso. De esta descripción surgen criterios de selección de aquellos procesos más relevantes al momento de considerar la evaluación de emergencias químicas.

3 GEO-REFERENCIACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN RELEVADAS

El listado de industrias confeccionado en el paso metodológico anterior, fue procesado y plasmado sobre un mapa digital. Este proceso facilita el análisis visual a través de la ubicación geográfica de las instalaciones en un marco territorial, observando la distribución industrial por regiones y la cercanía a centros urbanos más vulnerables tales como escuelas, hospitales, clubes deportivos, entre otros.

4 RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Los parámetros meteorológicos requeridos para poder ejecutar el modelo propuesto incluyen la siguiente información:

- Magnitud, dirección y persistencia del viento
- Temperatura y Presión atmosférica
- Humedad y pluviosidad
- Radiación solar
- Turbulencia

Si bien todos ellos están interrelacionados, interesa independizarlos a fin de evaluar la influencia de cada uno en los fenómenos estudiados [12].

La información que se detalla previamente fue suministrada por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica (SIM) de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), y la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP).

5 RELEVAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y USOS DEL SUELO DEL ENTORNO A LA FUENTE DE EMISIÓN

Se conoce como rugosidad del terreno al efecto conjunto de la superficie del terreno y los obstáculos, los cuales conducen a un retardo del viento cerca del suelo. La vegetación y las edificaciones son ejemplos de elementos de la rugosidad, no así las colinas largas y suaves. La rugosidad de un área dada está determinada por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene, por tal motivo a cada tipo de terreno se le puede asociar una clase de rugosidad. En términos físicos, la rugosidad es la altura sobre el suelo en que la velocidad media del viento es igual a cero, si el perfil es logarítmico. Comúnmente esta es definida con la variable Z_0 . [23].

El grado de turbulencia atmosférica influye en la rapidez con que una nube contaminante que se desplaza con el viento, se mezcla con el aire que la rodea, y luego se diluye por debajo de su **NP** (nivel de preocupación), es decir el umbral de concentración del contaminante por encima de la cual puede revestir peligro). La fricción entre el suelo y el aire que circula sobre éste, es una de las causas de la turbulencia atmosférica denominada turbulencia mecánica, cuanto más rugosa es la superficie del suelo, mayor es la turbulencia que se manifiesta. [12] El software ALOHA requiere información acerca de la ***rugosidad del suelo*** en la zona, a favor del viento durante una descarga, pues esta característica de la superficie perturba el flujo del aire.

Si bien es de importancia recopilar información sobre el uso del suelo de la región, [24] ya que puede ser útil para el análisis de los resultados, en términos generales se puede diferenciar cuatro tipos de rugosidad (Tabla 2), que se asocian a índices Z_0 como define el Reglamento CIRSOC¹ 102, y que son el insumo ideal como parámetro de entrada al modelo [23].

¹ Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para Obras Civiles. Este reglamento se dicta en conjunto con el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)

Tabla 2: Tipos de Rugosidad y valores de parámetro Z_o para cada uno. Fuente: Reglamento CIRSOC 102. [23]

Tipo	DESCRIPCION	$z_{o,i}$ (m)
I	Llanuras planas con pocas o ninguna obstrucción, con un promedio de alturas de las posibles obstrucciones alrededor de la construcción menor que 1,5 m. Por ejemplo: fajas costeras hasta aproximadamente 6 km, llanuras sin árboles, mesetas desérticas, pantanos.	0,005
II	Zonas llanas, poco onduladas con obstrucciones dispersas, tales como cercas, árboles o construcciones muy aisladas, con alturas entre 1,5 y 10 m.	0,050
III	Zonas onduladas o forestadas, zonas urbanas con numerosas obstrucciones de espacios cerrados que tienen la altura de las casas domésticas con promedio no superior a 10 m. Por ejemplo: áreas industriales, suburbios de grandes ciudades.	0,200
IV	Superficies cubiertas por numerosas obstrucciones, centros de grandes ciudades con edificación general de más de 25 m de altura.	0,500

ALOHA, por *default*, utiliza dos clases de rugosidad: *Campo Abierto* (baja rugosidad, baja turbulencia) o *Urbana/Bosque* (alta rugosidad, turbulencia mayor). También es posible introducir otros valores de Z_o .

6 DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS A MODELAR

Con el objeto de acotar el universo de información relevada, la introducción de datos al software ALOHA se centra en la descripción más precisa del escenario de descarga accidental. Los criterios de selección tienen en cuenta los siguientes ítems:

6.1 Sustancia química

En virtud de los antecedentes de emergencias químicas, las sustancias que prevalecen, sus características toxicológicas, las industrias locales que la generan o utilizan durante los procesos productivos, cantidades utilizadas o almacenadas y la factibilidad de ser modeladas se procede a seleccionar el compuesto a investigar.

6.2 Emisión

Está condicionada por el contenedor, las características termodinámicas de la sustancia, las condiciones de almacenamiento (temperatura y presión) la posición y dimensiones de la rotura. En función de estos parámetros el fluido irrumpe en el exterior en forma monofásica (totalmente gasificado o prácticamente líquido) o bifásica. La fase líquida se extiende sobre el terreno y se evapora. Si la sustancia emitida tiene una densidad similar o menor a la del aire (gas neutro o ligero), o si la mezcla de la sustancia y el aire en el momento de la emisión es muy intensa, se pasa a una etapa de dispersión pasiva.

6.2.1 Contenedores

Se clasifican en tres tipologías: depósitos, tuberías conectadas a depósitos y tuberías aisladas.

La geometría de los depósitos tiene escasa relevancia en la dinámica de la emisión, siendo la altura del recipiente la característica más destacable por su influencia en la dilución inicial, si la fuga se produce por la parte superior del equipo. Por ello, la forma de los contenedores, ya sean de almacenamiento o equipos de procesos, pueden asimilarse a esferas o cilindros (verticales u horizontales).

En las tuberías es importante conocer si están o no conectadas a depósitos. Esta información define, en caso de sufrir una rotura, cual será el volumen de emisión y/o derrame producido, pudiendo en ciertas condiciones ser el caudal de emisión decreciente o cíclico.

6.2.2 Fugas

En el momento de producirse es muy importante conocer el estado físico de los fluidos. Cabe distinguir entre gases, gases licuados y líquidos, que dependen de la presión y temperatura de almacenamiento.

El tamaño del orificio de fuga establece la duración de la emisión (gas) o vertido (líquido) estableciéndose:

- Si el orificio es grande en relación al volumen del recipiente (siendo la rotura catastrófica el caso extremo) la irrupción suele ser muy rápida (instantánea)
- Si el orificio es pequeño con relación al volumen del recipiente se produce una fuga continua, aunque en general de caudal decreciente. El tipo de fuga depende del estado físico del fluido y de la situación (altura del orificio en el contenedor), salvo que se trate de gas almacenado a presión [12].

6.3 Meteorología

Cuando acontece una emisión accidental de una sustancia química y ésta se mezcla con el aire dando lugar a la formación de una nube tóxica, la dinámica atmosférica juega un rol preponderante. Los fenómenos relacionados con estos procesos, en especial mezcla y dispersión, se producen en la capa de aire más próxima al suelo, denominada capa límite, cuya altura puede oscilar entre 200 y 1000 metros. Desde el punto de vista fluidodinámico, es la capa más compleja por su interacción con la litosfera e hidrosfera. Los parámetros meteorológicos más significativos que intervienen en la misma son los que a continuación se detallan, y representan las diferentes variables a combinar en el momento de correr el modelo planteado.

- a. **Velocidad del viento:** tiene gran importancia en la dispersión, ya que a modo de aproximación, se entiende que la concentración del producto fugado en la dirección del viento resulta inversamente proporcional a esta magnitud. La velocidad varía con la altura. Por ello, es necesario referenciar la altura a la que se realiza la medida.
- b. **Dirección del viento:** condiciona la dirección del transporte de sustancias fugadas y, por consiguiente, su impacto. A nivel de micro y mesoescala (extensiones con distancias hasta 10km), la topografía, la presencia de obstáculos y la proximidad al mar, influyen considerablemente en la dirección del viento.

Se ha adoptado el criterio de representar las direcciones del viento en un diagrama polar denominado *rosa de los vientos*, agrupándolas en 8 o 16 puntos geográficos (ver Figura 3).

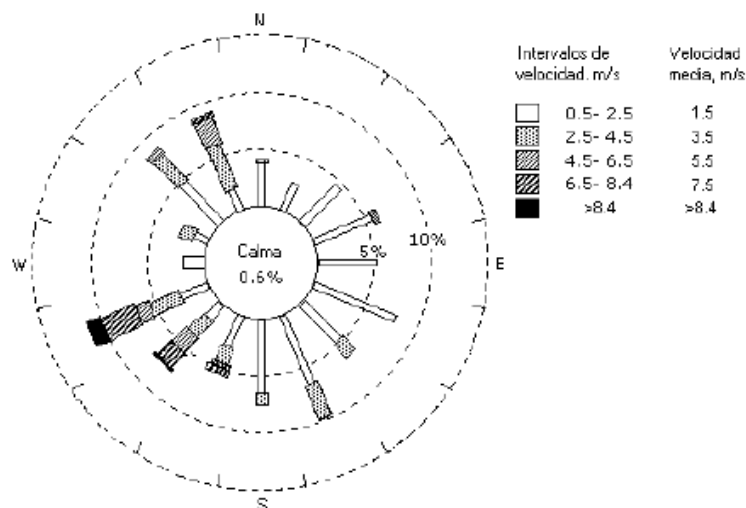


Figura 3: Esquema de Rosa de los Vientos. [12]

- c. Persistencia del viento:** expresa el número de ocasiones que en períodos determinados la dirección del viento permanece estable. Este parámetro permite prever los posibles cambios de dirección de la nube y, por consiguiente, las probables localizaciones de los impactos.
- d. Temperatura:** del ambiente que influye en la cinética de las reacciones de transformación de las sustancias fugadas en el aire, acelerando generalmente estos procesos. De la temperatura dependerán parámetros como la densidad del aire y de la nube, la presión de vapor, etc.
- e. Presión atmosférica:** a nivel del suelo está relacionada con la *estabilidad*. A escala sinóptica (para distancias superiores a 100km) se producen dos grandes movimientos rotacionales provocados por diferencias térmicas en grandes extensiones de litósfera e hidrósfera y las fuerzas de Coriolis: las borrascas (presiones bajas, inestabilidad) y los anticiclones o zonas de alta presión (condicionan situaciones de estabilidad).
- f. Humedad:** provoca la formación de aerosoles líquidos cuando el producto fugado es higroscópico (amoníaco, cloruro de amonio, cloruro de hidrógeno) y puede transformar las nubes ligeras en pesadas al aumentar la masa molecular. También influye en los procesos de transformación
- g. Pluviosidad:** resulta importante desde el punto de vista de la eliminación de los contaminantes atmosféricos, incluso para los productos insolubles.
- h. Radiación solar:** es el fenómeno primario más importante que dinamiza los movimientos de la atmósfera y, además, propicia las reacciones fotoquímicas (responsables en parte de la transformación de los contaminantes).
- i. Turbulencia atmosférica:** es el mecanismo más importante que interviene de manera decisiva en la mezcla y dispersión de las emisiones accidentales. La misma puede diferenciarse en turbulencia de origen mecánico y de origen térmico. La primera está provocada por la velocidad horizontal del aire, su interacción con el suelo y la geometría, distribución y altura de los obstáculos presentes. La turbulencia de origen térmico está condicionada por el perfil vertical de temperatura que provoca los movimientos verticales del aire.

6.3.1 Clases de Estabilidad Atmosférica

Los parámetros atmosféricos son críticos para el uso de modelos de dispersión de contaminantes. En efecto, los coeficientes de dispersión que aparecen en las fórmulas Gaussianas, están determinados por el mezclado

o poder dispersivo del flujo turbulento dentro de la capa límite atmosférica. Al respecto, Pasquill propuso un método que permite asociar diferentes parámetros atmosféricos a seis categorías de estabilidad:

- A extremadamente inestable
- B moderadamente inestable
- C ligeramente inestable
- D neutral
- E ligeramente estable
- F moderadamente estable

7 SIMULACIÓN CON ALOHA DE LOS POTENCIALES ESCENARIOS DE EMISIÓN.

Para ejecutar el ALOHA se introduce información en una serie de “cuadros de diálogo” (ventanas) para describir un escenario. Los datos de *entrada* al modelo son completados en el siguiente orden:

1. Selección de **Ubicación** en el menú Datos del Sitio. La lista de nombres de ciudades incluidas comprende localidades de los Estados Unidos (ver Figura 4).

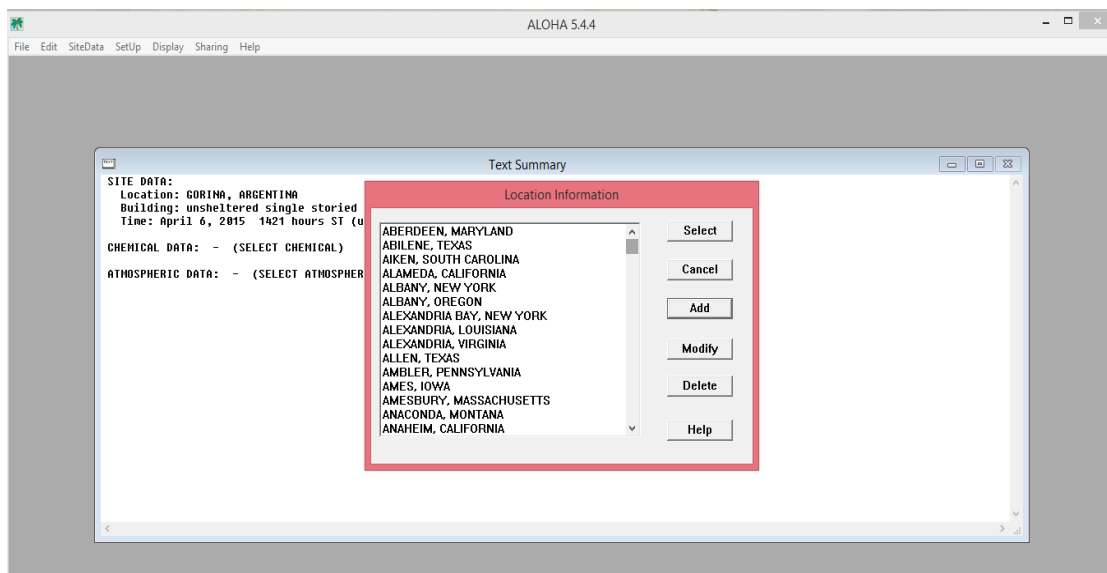


Figura 4: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Ubicación".

2. Dado otro sitio, se procede a cargar coordenadas de localización.
3. Puede agregarse información acerca del tipo de edificación existente, si el objetivo es estimar la tasa de infiltración dentro de la construcción.
4. En la biblioteca química de ALOHA, seleccionando la pestaña de **Información Química**, se elige la sustancia de interés (ver Figura 5).

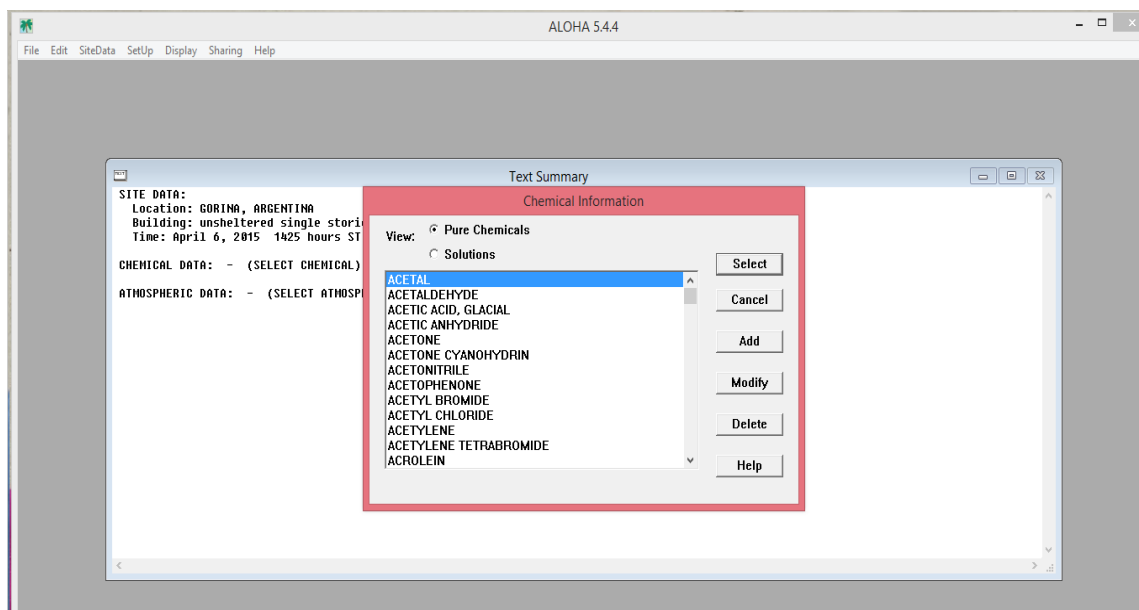


Figura 5: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Información Química".

5. En el menú de opciones **Atmosféricas**, que es de tipo jerárquico, se introduce la información meteorológica (en forma manual o mediante estación portátil).
6. Las condiciones meteorológicas para el escenario son: velocidad del viento, cobertura por nubes, temperatura del aire y humedad relativa (ver Figura 6).

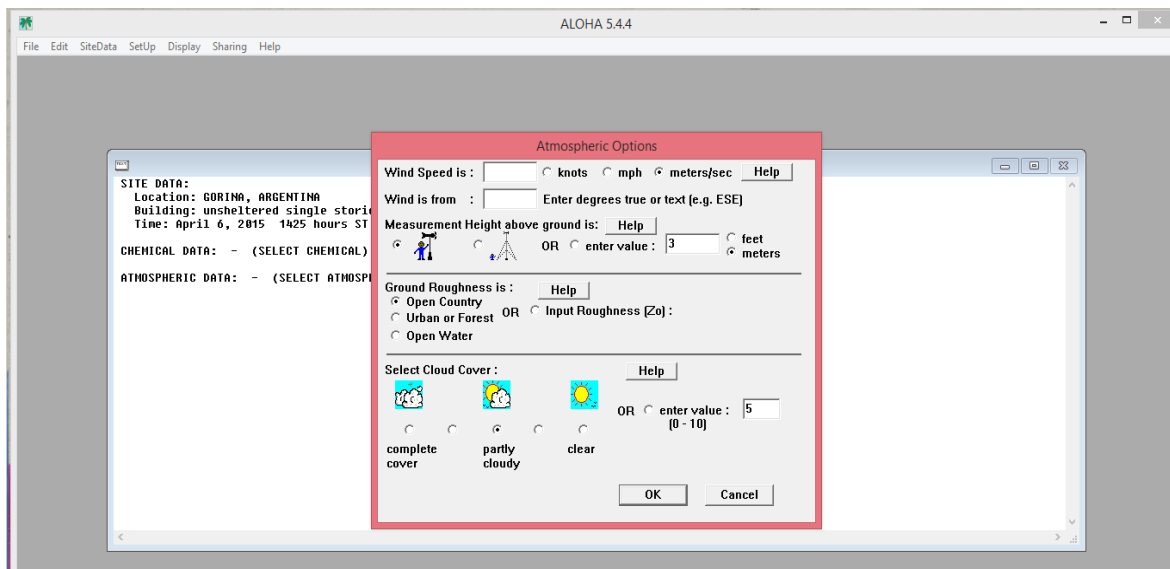


Figura 6: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Opciones atmosféricas".

7. La **Rugosidad del suelo**, como medida de la desigualdad del terreno sobre la que pasa la nube de gas, puede cargarse como dato pre-clasificado o bien con el índice correspondiente.
8. Para describir la descarga se contempla el tipo de **Fuente**, por ejemplo un **Tanque**, del cual se detalla forma, orientación y dimensiones (ver Figura 7).

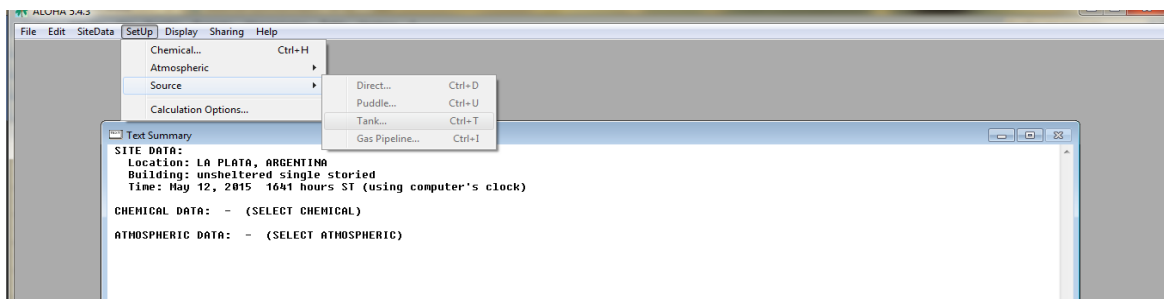


Figura 7: Captura de pantalla de opciones de fuente.

9. También se describe el contenido (líquido), masa o volumen de producto y si está almacenado a temperatura ambiental.
10. A continuación se detalla la forma en que la sustancia escapa de su contenedor, dando idea si es **Orificio** u otro tipo de **Abertura**.
11. En el menú **Configurar**, se selecciona **Computacional**, de manera que el modelo decida el ajuste de cálculo más adecuado.

12. Elección del **Nivel de Preocupación (NP)**, como el límite de concentración de un gas contaminante, por encima del cual se cree que existe riesgo. ALOHA traza una “huella”, que representa la zona donde la concentración del contaminante a nivel del suelo puede exceder su NP en algún momento luego de la descarga.
13. **Producto**, entendido como la información de salida del programa, tiene opciones como Huella, Concentración, Coordenadas Relativas y otras. En función de lo que se desea estimar o evaluar se escogen los gráficos y su extensión al finalizar la corrida.

7.1 Escenarios de riesgo

Un *escenario de riesgo* describe las condiciones que deben concurrir para que una amenaza se materialice, ocasionando daños sobre una población vulnerable.

La interacción entre el escape accidental del compuesto tóxico y esa comunidad se produce en un momento y lugar determinados, pudiendo simplificar esta relación así:

$$ER = A + PV$$

donde

ER: escenario de riesgo

A: amenaza

PV: población vulnerable

el signo “+” representa el área geográfica de impacto, superficie acotada de terreno donde, al mismo tiempo, coinciden el agente productor de daño y la población vulnerable, y el momento en que la interacción se produce [4, 8, 11].

Para la elaboración de cada escenario de riesgo, a fin de aplicar el software ALOHA en un incidente que involucre escape de amoníaco, se recurrirá a la siguiente metodología:

1. **Describir la amenaza:** incluyendo origen, naturaleza e información de la fuente emisora.
2. **Fijar el momento para el que se define el impacto:** de esta manera se fijan también las condiciones meteorológicas gobernantes y el impacto de la amenaza sobre la población vulnerable. El momento incide directamente en la evolución del escenario.

3. **Definir el lapso en el que se desarrollará el escenario de riesgo:** En este punto, el hecho de que uno de los modelos de dispersión que aplica ALOHA es estacionario (gaussiano), los lapsos temporales de modelado de software constituyen una limitación para configurar el tiempo real de desarrollo del evento.
4. **Fijar la magnitud de la amenaza:** Configurar los NP sobre lo que se ejecutará ALOHA para definir las áreas de impacto o afectación.
5. **Descripción del área geográfica de la interacción:** Definir las características del entorno de la fuente de emisión, es una condición de gran importancia ya que puede agravar o atenuar el impacto de la amenaza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1 RELEVAMIENTO DE FUENTES FIJAS

Como puede apreciarse en el ANEXO II, la tabla 1 reúne la lista de industrias relevadas en la zona de estudio (ciudad de La Plata y región Gran La Plata), que se seleccionaron en función de sus procesos productivos (instalaciones con al menos una chimenea, o un recipiente de almacenamiento de compuestos volátiles), el tipo de sustancias involucradas (cantidad y calidad), las dimensiones de dichas instalaciones y la ubicación geográfica.

2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FUENTES FIJAS

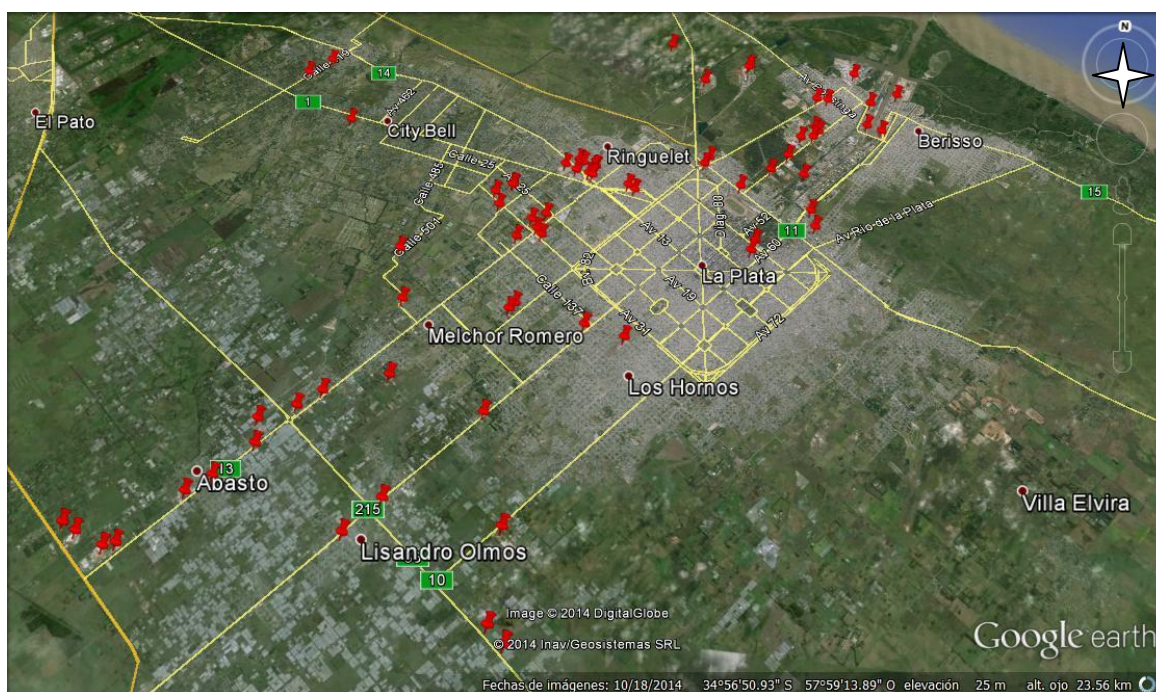


Figura 8: Distribución de Industrias. Zona La Plata y alrededores.
Google earth, 2015.

En base al listado anterior, se asignó a cada fuente sus coordenadas geográficas y posteriormente se ubicaron en un mapa del sitio en estudio. Queda así en evidencia la distribución de las industrias seleccionadas y su cercanía a sectores de diferente grado de urbanización. (Ver Figuras 8 y 9).

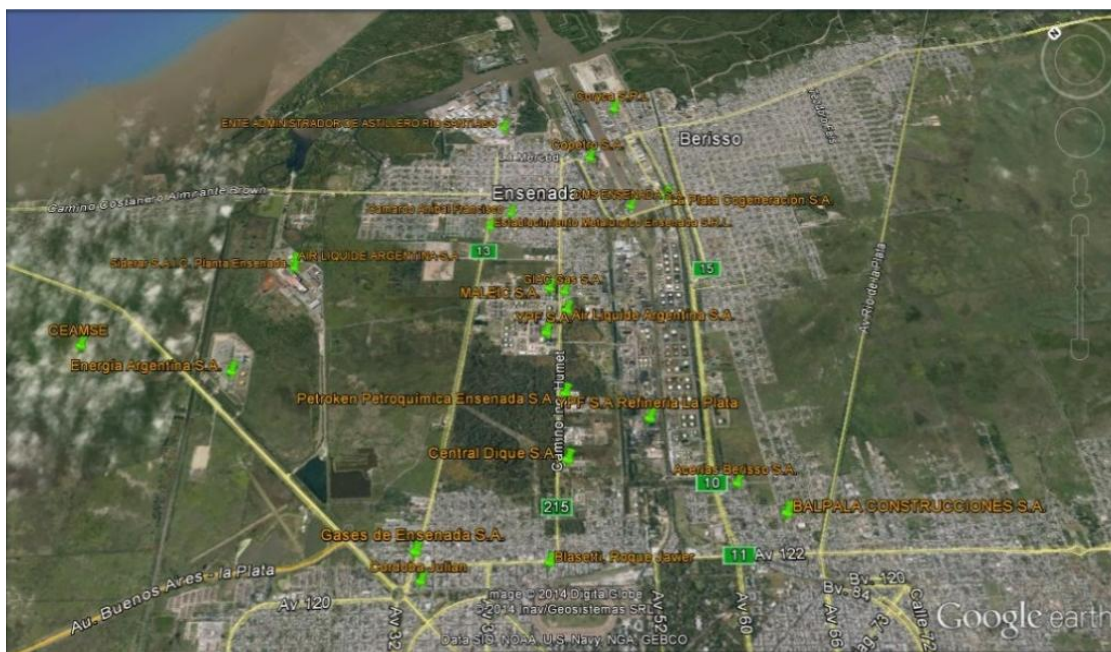


Figura 9: Distribución de Industrias. Zona Berisso y Ensenada. Google earth, 2015.

3 SELECCIÓN DE LA SUSTANCIA A MODELAR

Previamente se definió el criterio de selección de la sustancia a modelar.

A esto, y como un ejemplo ilustrativo, se presenta en la Figura 10 un artículo periodístico que pone en manifiesto el riesgo de incidentes en nuestra región de estudio, relacionados con procesos de refrigeración.



Figura 10: Artículo periodístico del diario HOY. Fecha de emisión: 11/03/2003

Por lo expuesto, este trabajo adopta al AMONIACO como compuesto elegido para evaluar escenarios de riesgo. Un resumen de sus características fisicoquímicas y toxicológicas se muestra a continuación, a partir de información de su hoja de seguridad. Información más detallada puede encontrarse en el ANEXO III.

3.1 Identificación de la Sustancia

En la Figura 11 puede apreciarse un resumen de las características fisicoquímicas y toxicológicas del amoniaco [25].

Nombre químico: Amoniaco anhidro

Sinónimos: Amoniaco líquido, Trihidruro de nitrógeno, Amoniaco.

Molécula:



Símbolos; frases de riesgo	Nº CAS	Nº EC	Nº NU
T, N R: 10-23-34-50 S:(1/2-)9-16-26-36/37/39-45- 61	7664-41-7	231-635-3	1005

T: Tóxico

N: Peligroso para el medioambiente

R 10-23-34-50:Inflamable. Tóxico por inhalación. Provoca quemaduras. Muy tóxico para los organismos acuáticos

S (1/2-)9-16-26-36/37/39-45-61: Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños. Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado. Conservar alejado de toda fuente de ignición-No fumar. En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsenle indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta). Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas/las fichas de datos de seguridad.

Concentración	Clasificación
C ≥ 25 %	T, N; R23-34-50
5 % ≤ C < 25 %	T; R23-34
0,5 % ≤ C < 5 %	Xn; R20-36/37/38

Figura 11: Información fisicoquímica y toxicológica del amoníaco [25].

3.2 Identificación de los Peligros

A continuación se describen brevemente los tipos de peligros o amenazas que puede presentar la manipulación/uso del amoníaco [25-27].

- **Incendio:** Extremadamente inflamable. Combustible en condiciones específicas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.
- **Explosión:** Mezclas de amoníaco y aire originarán explosión si se encienden en condiciones inflamables.
- **Exposición:**
 - La **inhalación** es una vía importante exposición. El olor del amoníaco y las propiedades irritantes pueden proporcionar una alarma adecuada de concentraciones peligrosas. Pero con la exposición prolongada, puede ocurrir una fatiga del olfato, haciendo difícil detectar la presencia de bajas concentraciones. Produce sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.
 - **Ingestión:** Las soluciones de amoníaco pueden causar lesión corrosiva de la boca, garganta y estómago si se ingiere.
 - **Contacto con la piel:** El contacto directo con amoníaco líquido o gas concentrado sobre la piel mojada causa quemaduras químicas graves. El contacto con el amoníaco líquido provoca congelación.
 - **Contacto con los ojos:** Concentraciones bastante bajas de amoníaco producen una irritación rápida del ojo. A concentraciones mayores produce quemaduras graves.

3.3 Efectos para la salud

Como se muestra en la tabla 3, la exposición al amoníaco produce usualmente irritación de los ojos, nariz, y garganta. Puede ocurrir un agotamiento respiratorio con tos, disnea, obstrucción de las vías altas respiratorias, encogimiento de los bronquios y acumulación de fluido en los pulmones. Si la piel está mojada o húmeda, el contacto con amoníaco puede causar dolor por quemadura, inflamación, ampollas, y ulceración.

El contacto con amoníaco líquido bajo presión puede dar como resultado una congelación. Concentraciones bajas de gas causan molestia por quemadura, parpadeo espasmódico o cierre involuntario de los párpados, enrojecimiento, y lagrimeo. Después de la exposición a altas concentraciones de amoníaco líquido, ocurren quemaduras de la córnea y pueden conducir a la ceguera.

Tabla 3: Efectos asociados a concentraciones atmosféricas de amoníaco [25].

Concentración de amoníaco	Efecto
0,7-14 mg/m ³ (1-20 ppm)	Detección de olor (desarrolla alguna tolerancia)
35 mg/m ³ (50 ppm)	Ligera irritación de la membrana mucosa
213-355 mg/m ³ (300-500 ppm)	Marcada irritación de la piel, ojos, tracto respiratorio superior con conjuntivitis, dolor de garganta, tos. Incremento de la presión de la sangre y el número de pulsaciones. Concentración máxima tolerada hasta 1 hora.
497 mg/m ³ (700 ppm)	Posible lesión inmediata del ojo
> 1206 mg/m ³ (>1700 ppm)	Dolor de pecho, edema pulmonar, laringoespasma
1774-4612 mg/m ³ (2500-6500 ppm)	Mortal en menos de 30 minutos
7096mg/m ³ (10000 ppm)	Mortal en pocos minutos

3.4 Configuración de NP

En la actualidad es una práctica común emplear una jerarquía de índices toxicológicos, como NP, para la exposición a diferentes sustancias químicas en el aire. Para la estimación del daño provocado por exposiciones agudas, los índices de preferencia son los *AEGL* (*Acute Exposure Guideline Levels*). Cuando la sustancia no dispone de AEGL se recomienda utilizar el índice *ERPG* (*Emergency Response Planning Guidelines*) y en última instancia puede ser utilizado el índice *TEEL* (*Temporary Emergency Exposure Limits*) [28-32].

Los AEGLs representan límites umbrales de exposición, para el público en general, y son aplicables a los períodos de exposición de emergencia que van desde 10 minutos a 8 horas. Los procedimientos operativos de los AEGLs, definen a este índice como la concentración en el aire (expresada en ppm o mg m⁻³) de una sustancia por encima de la cual se prevé que la población general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar diferentes síntomas. Tres niveles diferentes de referencia se establecen y se corresponden con aumentos en la severidad de los síntomas (AEGL-1, AEGL-2 y AEGL-3). [28, 33] Los múltiples períodos disponibles para cada nivel de daño permiten una interpolación fiable a diferentes tiempos. Los AEGL han sido publicados para varias sustancias químicas. A través del sitio Web de la EPA se puede acceder al estado actual de este proyecto [34-44].

Los AEGL han sido propuestos por la EPA y adoptados por organismos de otros países al ser reconocida su credibilidad científica. Estos niveles guía se van desarrollando para diferentes sustancias, a través de cuatro niveles [12]:

1. Inicial o de partida

2. Propuesto
3. Provisional
4. Final: se publica por el *National Research Council*, adquiriendo categoría de valor definitivo

El AEGL para el amoníaco se encuentran a la fecha en estado FINAL y sus valores son presentados en la tabla 4.

Tabla 4: Valores de AEGL para el amoníaco [45].

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
AEGL₁ (mg/m³)	21	21	21	21	21
AEGL₂ (mg/m³)	156	156	114	78	78
AEGL₃ (mg/m³)	1916	1135	781	390	277

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
AEGL₁ (ppm)	30	30	30	30	30
AEGL₂ (ppm)	220	220	160	110	110
AEGL₃ (ppm)	2700	1600	1100	550	390

Los efectos asociados a cada nivel guía se describen a continuación:

AEGL-1: *Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos asintomáticos.* Estos efectos son *transitorios y reversibles* una vez que cesa la exposición. Concentraciones por debajo del AEGL-1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otra irritación sensorial leve.

AEGL-2: *Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar efectos duraderos serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar.* Concentraciones por debajo del AEGL-2, pero por encima del AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden causar notable malestar.

AEGL-3: *Concentración a o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar efectos amenazantes para la vida e incluso provocar la muerte.* Concentraciones por debajo del AEGL-3 pero por encima del AEGL-2 representan niveles de exposición que pueden causar efectos duraderos, serios o irreversibles o impedir la capacidad de escapar.

3.5 Descripción de los procesos industriales

Ante el gran número de procesos existentes, y la complejidad que cada uno de ellos presenta, sólo se describirá a continuación aquel que involucra al compuesto seleccionado para aplicar el modelo.

La utilización del *amoníaco* como refrigerante se da por las características físicas y químicas, entre las cuales se distingue por una buena capacidad de absorber calor, dentro de la gran variedad de productos químicos que son utilizados como refrigerantes, entre los cuales se pueden mencionar: anhídrido sulfuroso, anhídrido carbónico y freones, son estos los más conocidos y cada uno de ellos ha sido retirado durante el transcurso del tiempo por varias razones (desde el costo de las instalaciones para estos como por el daño que producen al medio ambiente, particularmente a la capa de ozono). A pesar que el amoniaco para su utilización requiere de equipos bastante costosos (costo de construcción y mantenimiento), el hecho de tener una larga vida operacional sin perder sus características como refrigerante, lo hace una opción válida para este fin. Su capacidad de absorción de calor es utilizada tanto para el mantenimiento y conservación de productos alimenticios, como para la fabricación de hielo, o en otros procesos industriales [46-49].

3.5.1 Sistemas de refrigeración con AMONÍACO

A continuación se presenta una breve descripción de los sistemas de refrigeración a nivel Industrial, basados en la utilización de amoníaco como refrigerante.

Las partes más destacadas del sistema de refrigeración son las siguientes (Figura 12):

1. Evaporador
2. Compresor
3. Condensador
4. Válvula de expansión

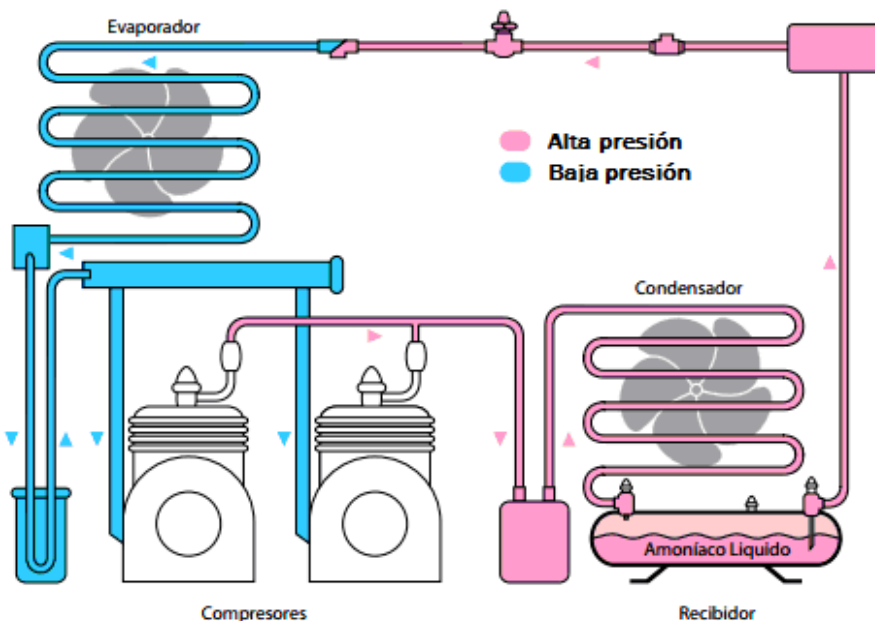


Figura 12: Esquema simplificado de un sistema de refrigeración. En el mismo no se detallan válvulas, filtros, instrumentos ni circuitos de aceite.

3.5.1.1 Evaporador

Serpentina dentro de la cual el refrigerante es evaporado. Dado que la presión dentro de las placas es baja, la temperatura de ebullición también lo es. Cuando el producto escurre al exterior de las placas, el calor es transferido hacia el refrigerante, haciendo que el amoníaco se evapore.

El amoníaco que aún permanece en su fase líquida tiene la capacidad de refrigerar porque no ha entrado en ebullición; mientras que el amoníaco en fase vapor ya no puede refrigerar.

El vapor de amoníaco es succionado por el compresor y la presión del evaporador es controlada por una válvula reguladora de Presión. Esto permite controlar la temperatura de ebullición del refrigerante y, en consecuencia, la del producto.

3.5.1.2 Compresor

El vapor a baja presión y temperatura producido por la evaporación es succionado por el compresor. Aunque la refrigeración se produce en el evaporador, la velocidad con que el compresor puede succionar el vapor determina la capacidad de refrigeración.

En la compresión se eleva la presión (aproximadamente hasta 13 Kg cm^{-2}) y la temperatura del amoníaco (cerca de los 80°C); el vapor sale sobrecalentado.

El sistema tiene la posibilidad de cambiar la capacidad del compresor. Si existe un descargador fijo, se requiere de un by-pass o carga falsa para protección.

3.5.1.3 Condensador

Su función es condensar el vapor de manera que al salir el refrigerante esté en su fase líquida. El condensador enfría mediante aire, agua o ambos.

El proceso se da por recirculación de agua que es rociada sobre serpentines en cuyo interior hay amoníaco gaseoso. Si el agua por si misma no es capaz de enfriar, se agrega la acción de ventiladores que inyectan aire en contracorriente.

El condensador controla la presión de descarga del compresor (cercana a los 13 kg cm^{-2}).

El refrigerante líquido se colecta en el llamado *tanque recibidor*, y allí es almacenado hasta que el evaporador lo necesite.

3.5.1.4 Válvula de Expansión

El amoníaco líquido fluye desde el tanque recibidor hacia la válvula de expansión, alimentando al evaporador con la cantidad suficiente para reemplazar el amoníaco que se ha evaporado. Al bajar la presión (por la expansión) y la temperatura, el refrigerante recupera su capacidad de enfriamiento.

La válvula representa el punto de separación del lado de alta y baja presión. Así el lado de alta se inicia en la descarga del compresor y termina en la entrada de la válvula. El lado de baja presión se inicia en la salida de la válvula de expansión y termina en la succión del compresor: la presión en cualquiera de estos puntos es de aproximadamente 3.2 kg cm^{-2} .

4 APLICACIÓN DE ALOHA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Considerando las variables que más afectan la dispersión de la nube tóxica, se eligen diferentes escenarios. En la selección se parte de condiciones basadas en el promedio de los últimos 4 años (2011-2014) de los parámetros meteorológicos de

entrada al modelo y otras condiciones extremas del último año (2014) que contribuyen a confeccionar el “peor escenario”. Esta última suposición permite evaluar los potenciales impactos en caso de un evento de características similares.

Las variables modificadas en sucesivas corridas fueron:

- **Meteorológicas:** Temperatura, magnitud y dirección de la velocidad del viento, humedad relativa.
- **Relacionadas con la ubicación de la fuente de emisión:** Rugosidad del terreno.
- **Caracterizando el incidente:** tipo rotura: orificio o rajadura; y ubicación del mismo.

En la tabla 5 se detallan las condiciones de corrida de cada escenario (*E*).

Se toma como fuente puntual la planta de refrigeración de tres frigoríficos (*F*), ubicados dos de ellos en zona Gran La Plata (*F1* y *F2*) y otro fuera de ésta área (*F3*), a fin de contemplar diferentes terrenos (entornos a la fuente).

Para los tres *F*, en base a información relevada sobre condiciones de operación, se consideran los siguientes supuestos para la fuente de emisión considerada (tanque receptor):

- ✓ Cilíndrico horizontal (1.45 m de diámetro y 5.30 m de largo).
- ✓ Presión de trabajo 12 kg cm⁻².
- ✓ El tanque contiene amoníaco líquido en un 85% de nivel de llenado.
- ✓ Tipo de rotura: orificio de 2 cm de diámetro.

Tabla 5: Condiciones de ejecución de los diferentes escenarios. E1: Promedio de parámetros meteorológicos 2011-2014 para F1. E2: Temperatura mínima registrada durante año 2014. E3: Temperatura máxima registrada durante año 2014. E4: Vientos más fuertes registrados durante año 2014. E5: Promedio de parámetros meteorológicos, ídem E1, para F2. E6: Condiciones meteorológicas características de un día otoñal y de una noche cálida para F3. (a) Condiciones diurnas; (b) Condiciones nocturnas; (c) Cambio de dirección del viento.

		FRIGORIFICO											
		F1 (Zona sub-urbana)						F2 (Zona rural)			F3 (Zona urbana)		
Ubicación	Coordenadas	34° 55' 21.6" S 58° 02' 50.95" O						35° 00' 39.34" S 57° 52' 46.48" O			34° 30' 43.12" S 58° 42' 42.28" O		
	Elevación (m)	14						17			31		
Escenarios Clasificación		E1	E2		E3		E4		E5			E6	
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)
Condicio- nes meteo- rológicas	Mag. velocidad viento (km h-1)	4.8	5.6	3.6	4.0	3.6	27.4	20.9	4.8			14	3.6
	Dirección velocidad viento	N	SE	NNO	NNE	N	NNE		N		SO	NE	
	Alt. anemómetro (m)	8						8			8		
	Cobertura de nubes	media	total	baja	baja	total	alta	total	media	alta		media	total
	Humedad Relativa (%)	75	99	94	54	71	99	96	75	90		39	71
	Temperatura (°C)	19	4.5	2.4	34.9	31.5	17.2	16.7	19	15		24	31.5
Terreno	Rugosidad (m)	Zo: 0.2						Zo: 0.05			Zo: 0.35		
	Tipo de edificación	Tipo III (Areas industriales/suburbios de grandes ciudades)						Tipo II (Zonas llanas con obstrucciones dispersas)			Tipo intermedio entre III y IV (urbanizado)		

4.1 Información de entrada para ejecución de ALOHA

E1: promedio de parámetros meteorológicos del período 2011-2014

E2(a): Temperatura mínima registrada durante año 2014, fecha 29/6/2014 (Hora: 11:30 a.m.)

E2 (b): Temperatura mínima registrada durante año 2014, fecha 29/6/2014. (Hora: 3:45 a.m.)

E3(a): Temperatura máxima registrada durante año 2014, fecha 18/01/2014. (Hora: 16:00)

E3(b) : Temperatura máxima registrada durante año 2014, fecha 18/01/2014. (Hora: 4:00 a.m.).

E4(a): Vientos máximos registrados durante año 2014, fecha 11/06/2014. (Hora: 16:30)

E4(b): Vientos máximos registrados durante año 2014, fecha 11/06/2014. (Hora: 4:00 a.m.)

Nota: los escenarios E2, E3 y E4 se confeccionaron a partir de valores extremos de temperatura y magnitud de velocidad del viento. En cada caso, la información meteorológica complementaria para ejecutar el modelo surge de los datos registrados en la misma fecha y horario.

4.2 Salida del ALOHA

ALOHA proporciona gráficamente las extensiones superficiales de las nubes tóxicas a nivel del suelo, limitadas por las concentraciones máximas de interés (niveles de AEGL), complementándolas con zonas de “posible afectación” (líneas discontinuas) como consecuencia de probables desviaciones de la dirección del viento.

Estas representaciones son útiles para aquellos casos en los que se evalúan accidentes en tiempo real (se conoce la dirección del viento), pero para “planificación” las zonas a considerar deben ser circulares.

A continuación se presentan las “capturas de pantalla” correspondiente a cada ejecución. Se selecciona la opción “Huella” como gráfico de salida (sobre cuadrícula y escala). Los resultados de las corridas se muestran como distancias alcanzadas por la nube tóxica, desde la fuente, y se expresan en metros. Estas longitudes se corresponden con cada nivel de AEGL asignado al amoníaco (ver Tabla 4).

4.2.1 Análisis de Escenario con condiciones meteorológicas promedio

El escenario E1 representa las condiciones meteorológicas promedio de los últimos registros, y su caso se toma como ejemplo en este trabajo para detallar el funcionamiento y utilidades de la herramienta ALOHA en cada paso de la obtención de resultados.

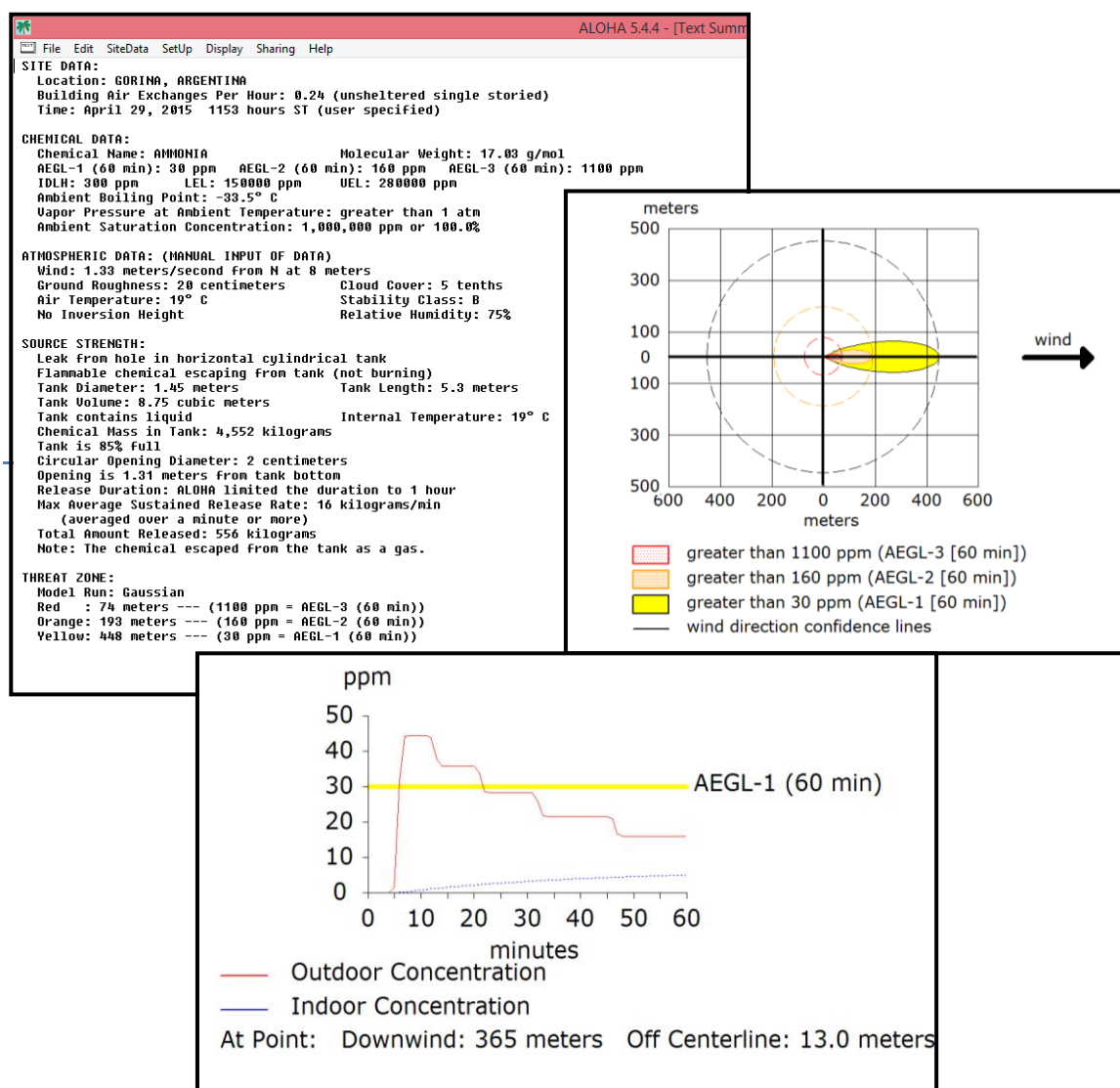


Figura 13: Información de salida: texto resumen, gráfico de huella y perfil de concentración en un punto

En la Figura 13 puede apreciarse la vasta información que arroja el modelo, en sus diferentes formatos.

En la salida textual se visualiza, no solo el resumen de los datos cargados al software, facilitando su revisión, sino también información descriptiva de la emisión. De este modo, ALOHA estima que la duración de la emisión en *E1* está limitada a 1 hora, y que la tasa máxima de descarga es 16 kg/min. Asimismo, el amoníaco líquido descargado desde el tanque lo hace en forma de gas, siendo 556 kg la masa total liberada.

El gráfico sobre cuadrícula de la Figura 13, exhibe la Huella correspondiente a este escenario. Se puede observar que las concentraciones de amoníaco pueden exceder los 30 ppm en una extensión de aproximadamente 450 metros a favor del viento del tanque que presenta la fuga. Para cada AEGL es posible definir el Area que excederá una concentración dada.

El gráfico inferior de la Figura 13, muestra el perfil de concentración (*outdoor e indoor*) a una distancia a sotavento y en relación al eje central de dispersión de la pluma definida por el usuario. En este caso en particular, la coordenada de interés corresponde a 365 metros a sotavento de la fuente de emisión y a 13 m del eje central. Por su parte, la recta amarilla representa el nivel de protección seleccionado, la línea continua roja a la concentración estimada en función del tiempo en la ubicación seleccionada, y la línea punteada azul muestra la concentración estimada dentro de los edificios. Esta información resulta de gran utilidad en la gestión de emergencias, contemplando sitios de mayor densidad de población. Por ejemplo: escuelas, hospitales, centros recreativos y comerciales, templos, etc.

Finalmente, con la información de las coordenadas geográficas, se exportan las salidas gráficas de ALOHA sobre cartografía digital. En este trabajo se utilizó la herramienta Google Earth para visualizar las zonas de impacto sobre imágenes satelitales. En la Figura 14 se muestra la salida procesada correspondiente a *E1*.

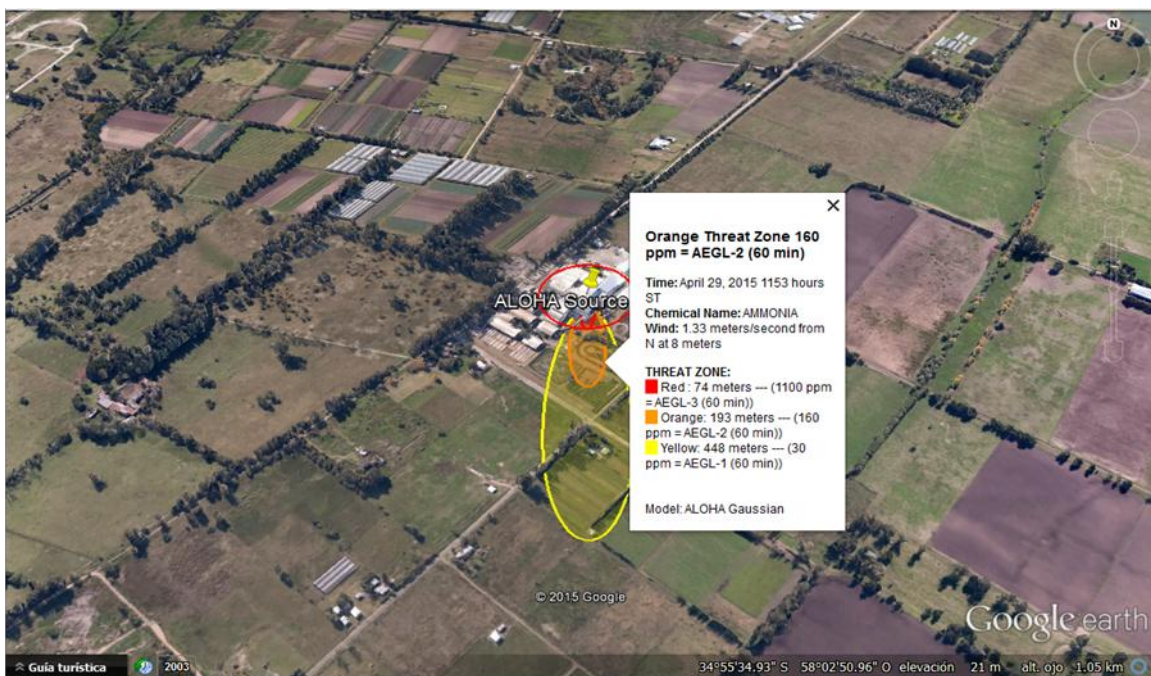


Figura 14. Vista satelital de Huella corrida en E1 promedio.

4.2.2 Análisis de Escenarios desfavorables para la dispersión del amoníaco

De las numerosas corridas ejecutadas con ALOHA a partir del estudio diversos escenarios, se eligieron solo algunas, de manera tal que la información obtenida quede acotada al alcance de este trabajo.

ALOHA aplicado a la simulación de escapes de amoníaco de un Frigorífico, según la Tabla 5, arrojó las siguientes distancias de Áreas con atmósfera peligrosa:

Tabla 6. Alcance de la huella de NH₃ liberado en cada Escenario (expresada en metros), y su clase de estabilidad atmosférica asociada.

AEGLs	E1	E2a	E2b	E3a	E3b	E4a	E4b	E5a	E5b	E5c	E6a	E6b
3	74	114	420	104	230	63	72	72	239	239	45	146
2	193	321	1200	274	668	172	197	188	667	667	119	392
1	448	829	3000	636	1700	429	494	437	1700	1700	275	907
Estabilidad	B	D	F	B	D	D	D	B	E	E	C	D

E1 , diseñado a partir de valores promedio de las variables meteorológicas, es el modelo mostrativo para explicar los pasos a seguir en la aplicación de ALOHA, pero no representa el *peor escenario* que es la situación que se prefiere cuando de gestionar el riesgo se trata. Ante las circunstancias mas adversas contempladas, la planificación será mas protectora y la repuesta más efectiva.

En las siguientes imágenes se muestran los resultados de la aplicación de ALOHA en todos los escenarios descritos en la Tabla 5.

Para su mejor visualización, se respeta una escala geográfica en común, agregando a su vez, una imagen con zoom.

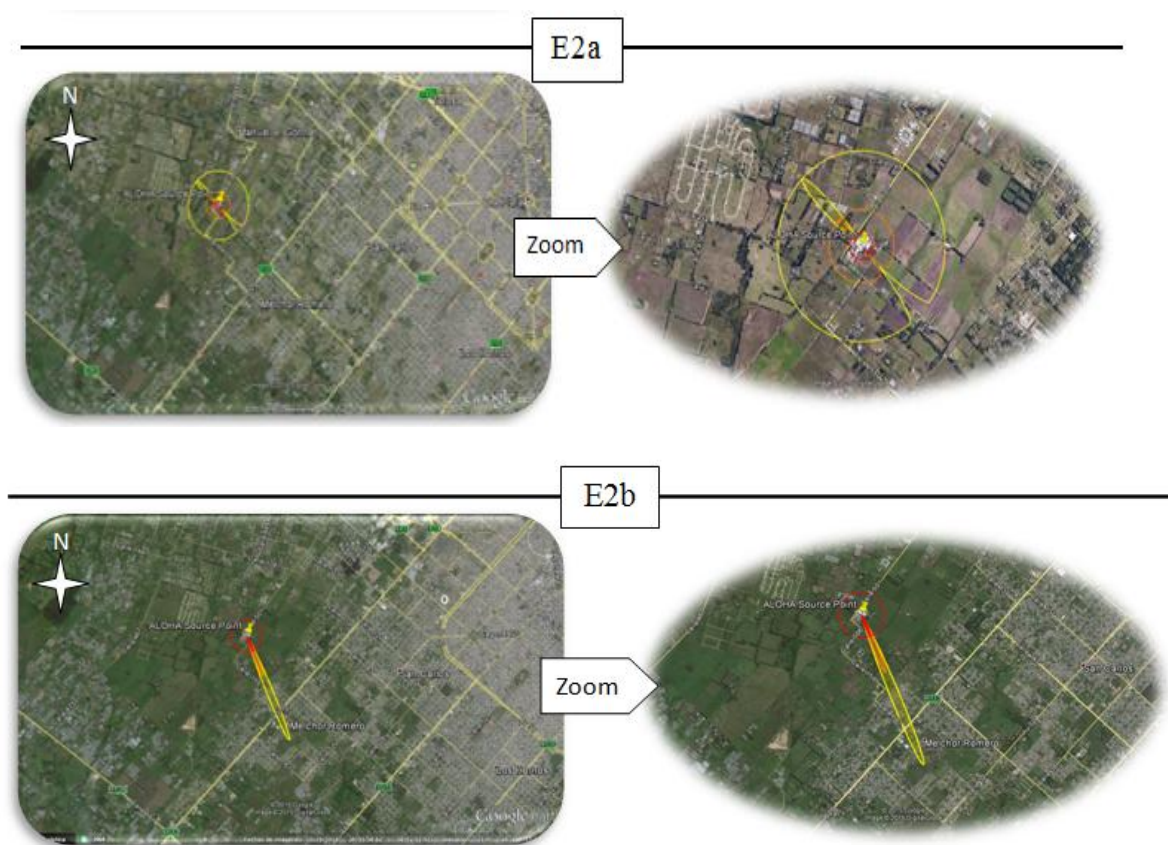


Figura 15: Salidas gráficas exportadas sobre cartografía de los escenarios E2a y E2b (F1)

E2, que representa el día más frío del año 2014, cambia la extensión de su huella según sea diurno o nocturno, (*E2a* y *E2b* respectivamente) variando la cobertura de nubes y, en consecuencia, la estabilidad atmosférica (mayor estabilidad por la noche).

En el “a”, el carácter neutro de la estabilidad atmosférica reinante (con velocidades de viento muy bajas), hace que ALOHA muestre un gráfico circular, no pudiendo asegurar que la extensión de la huella se de en dirección del viento.

En **E3**, escenarios que consideran las mayores temperaturas, se observa un comportamiento similar: pasando de una atmósfera moderadamente inestable a una mas neutra. La extensión de áreas con concentraciones mayores de amoníaco a los límites AEGL, se incrementa casi tres veces.

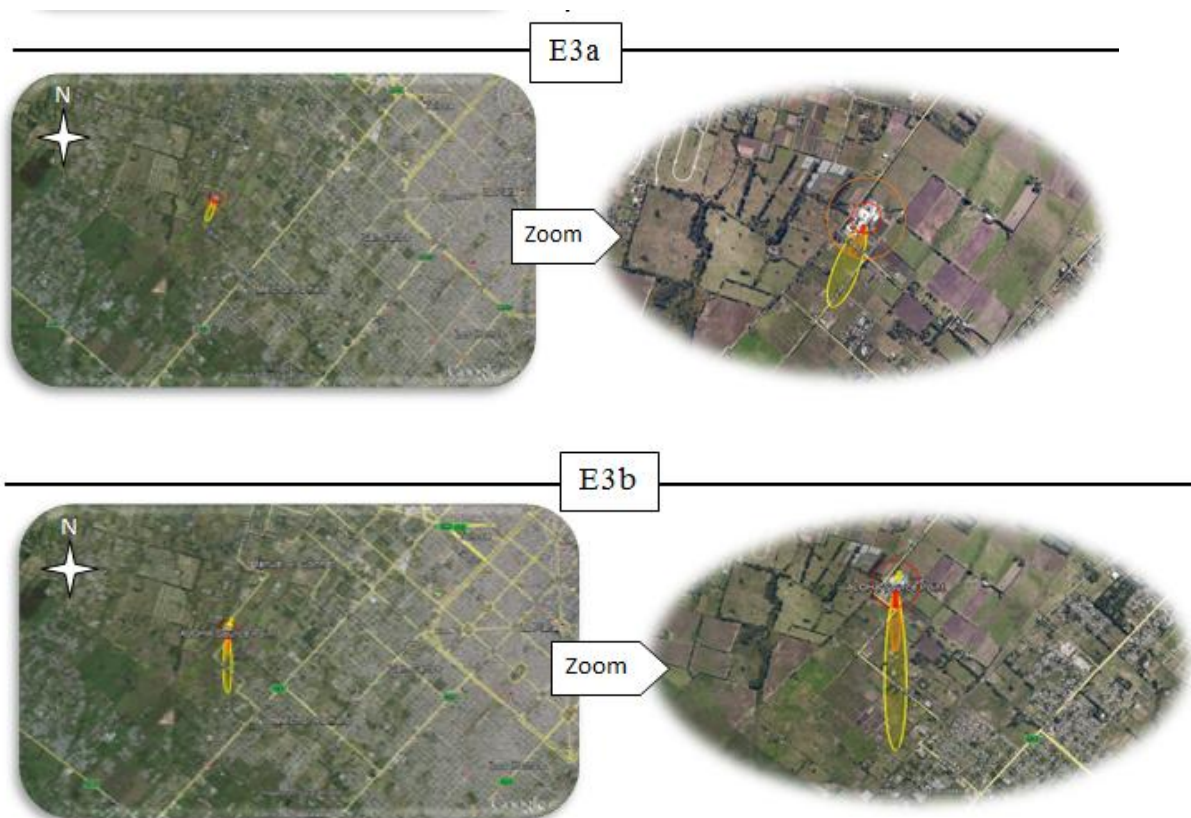


Figura 16: Salidas gráficas exportadas sobre cartografía de los escenarios E3 a y b (F1).

Del análisis de los resultados obtenidos, en términos generales se desprende que la turbulencia atmosférica tiene el mayor impacto sobre la tasa de dispersión de la nube de amoníaco y que la estabilidad atmosférica, concepto utilizado para

caracterizar las propiedades de la baja capa límite atmosférica, gobierna la mezcla del aire. De este modo, una atmósfera estable (E-F) inhibe la mezcla vertical, una atmósfera neutra (D) no permite ni inhibe el mezclado vertical, y una atmósfera inestable (A-C) manifiesta fenómenos turbulentos y de mezclado.

La interpretación que antecede queda respaldada por las tablas confeccionadas por Pasquill-Gifford (ver Tabla 7)

Tabla 7: Clasificación de la estabilidad en función de la magnitud de la velocidad del viento y de la radiación solar incidente. Las unidades de radiación solar se expresan en cal cm⁻² (Langley) o en kWh m⁻², donde 1 cal cm⁻² = 0,0116 kWh m⁻². La noche se define como el período desde una hora después de la puesta del sol, hasta una hora antes de la salida del mismo.

Velocidad del viento a 10 m de altura (m s ⁻¹)	Día			Noche ⁴		Día o noche
	Radiación solar incidente ⁵			Despejado (Cubierto 3/8 o menos)	Seminublado (Cubierto 4/8 o más)	Cubierto
	Fuerte (> 50 cal cm ⁻² h ⁻¹)	Moderada (entre 25 y 50 cal cm ⁻² h ⁻¹)	Leve (< 25 cal cm ⁻² h ⁻¹)			
<2	A	A-B	B	F	F	D
2-3	A-B	B	C	F	E	D
3-5	B	B-C	C	E	D	D
5-6	C	C-D	D	D	D	D
>6	C	C-D	D	D	D	D

Un análisis complementario sobre los escenarios *E2* y *E3*, muestra como en solo 12 horas las variables meteorológicas se modifican y pueden dar lugar a nubes tóxicas que no se dispersarán fácilmente, generando como consecuencia un mayor impacto

Por otro lado, a fin de evaluar la influencia de la temperatura sobre las dimensiones de la huella, resulta de interés simular un escenario *E3b-mod* asemejando la cobertura nubosa a la considera en *E2b*. De esta manera, es factible comparar ambos escenarios con solo una variable modificada: la temperatura. Los alcances de la huella en estas condiciones pueden observarse en la Tabla 8.

Tabla 8: Alcance de la huella de NH₃ liberado en los escenarios E2b y E3b-mod (expresada en metros), y la clase de estabilidad atmosférica asociada.

AEGLs	E2b	E3b-mod
3	420	677
2	1200	1800
1	3000	4700
Estabilidad	B	F

En la Tabla 8 se hace evidente que con la cobertura media de nubes, al igual que el escenario representativo de temperaturas extremas bajas (*E2b*), el efecto en el incremento de este parámetro influye directamente en la cantidad de amoníaco emitido. Dado que el almacenamiento de la sustancia es a temperatura ambiente, sucede que si aumenta la temperatura, aumenta la masa emitida y por lo tanto la huella tendrá un alcance mayor (*E3b-mod*). Esta apreciación es visible en la Tabla 9.

Tabla 9: Tasa de emisión y masa descargada desde el tanque receptor para cada uno de los escenarios, en función de la temperatura.

Escenario	Temperatura ambiente (°C)	Tasa de emisión (kg min ⁻¹)	Masa emitida (kg)
E2b	2.4	9.67	383
E2a	4.5	10.4	404
E4b	16.7	15.2	531
E4a	17.2	15.5	528
E1	19	16	556
E3a	34.9	25.1	742
E3b	31.5	22.9	701

E4 representa escenarios de emisión en *F1* pero con velocidad y magnitud de viento máximos (también registrados en 2014). Comparativamente, *E4a* y *E4b* no evidencian diferencias significativas en las dimensiones de la Huella.

Para escenarios como *E4*, donde la magnitud de la velocidad del viento es mayor que en los anteriores (casi siete veces), la cobertura de las nubes deja de afectar en gran medida la dispersión del amoníaco debido a que la advección se vuelve el fenómeno gobernante. Este comportamiento es bien explicado por la tabla de doble entrada de estabilidades atmosféricas (Tabla 7).

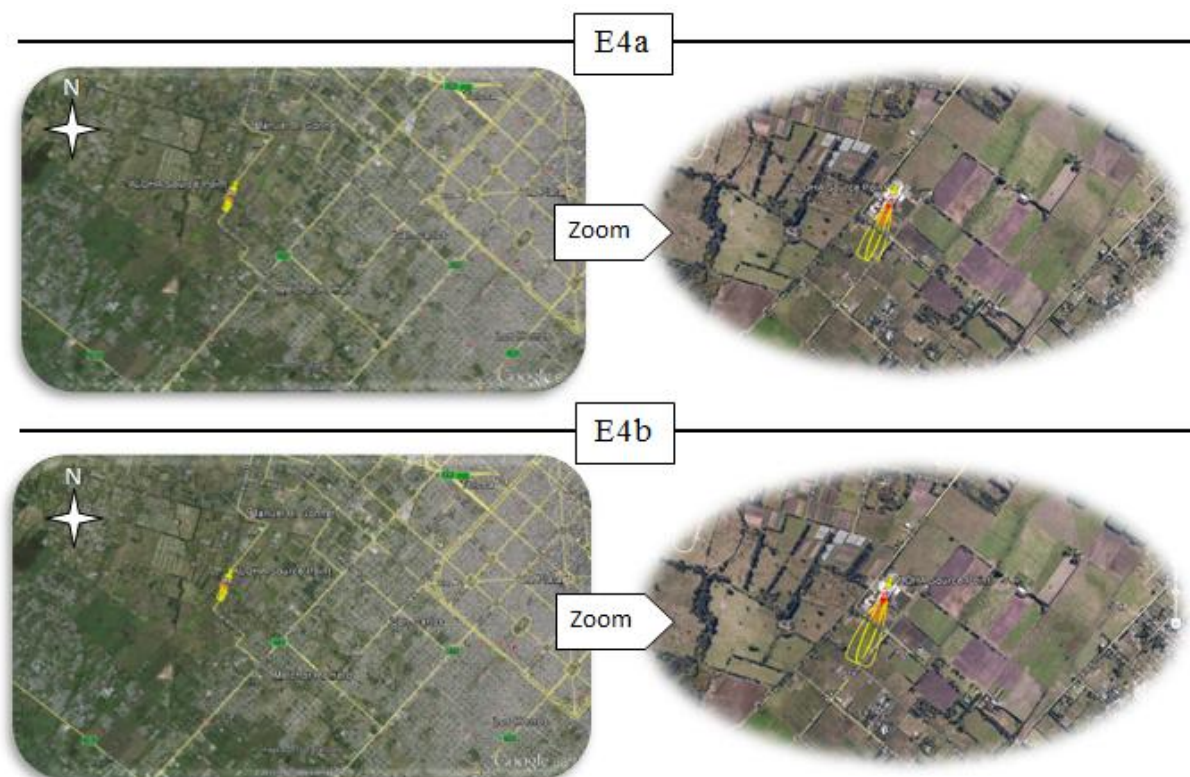


Figura 17: Salidas gráficas exportadas sobre cartografía de los escenarios E4a y E4b (F1).

Hasta aquí es factible suponer que el peor escenario para un escape de sustancia no deseado desde una fuente dada, es aquel que presenta altas temperaturas, bajas velocidades de viento, cobertura nubosa menor y una atmósfera reinante tendiendo a estable. Sin embargo, existen múltiples situaciones en las que la meteorología, por si sola, no define el peor contexto en cuanto a impactos. Así, modificando en el escenario promedio *E1*, otros datos de entrada al modelo como ser la ubicación del orificio de rotura en el tanque, se observarán notables diferencias en el alcance de la huella como las simuladas con *E1-bajo*.

Un ejemplo de esta situación se presenta a continuación, simulando con ALOHA una rotura **por debajo** del nivel de llenado (*E1-bajo*).

Para correr este escenario, se definen los siguientes supuestos: orificio de 2 cm de diámetro ubicado a 90 centímetros de altura desde la base del tanque (altura

equivalente a la línea de 60% del volumen total de amoníaco almacenado). El resto de los parámetros son iguales a los considerados en *E1* promedio (salvo una leve variación en la dirección del viento, NO). La huella de impacto se muestra comparativamente en la Figura 18.

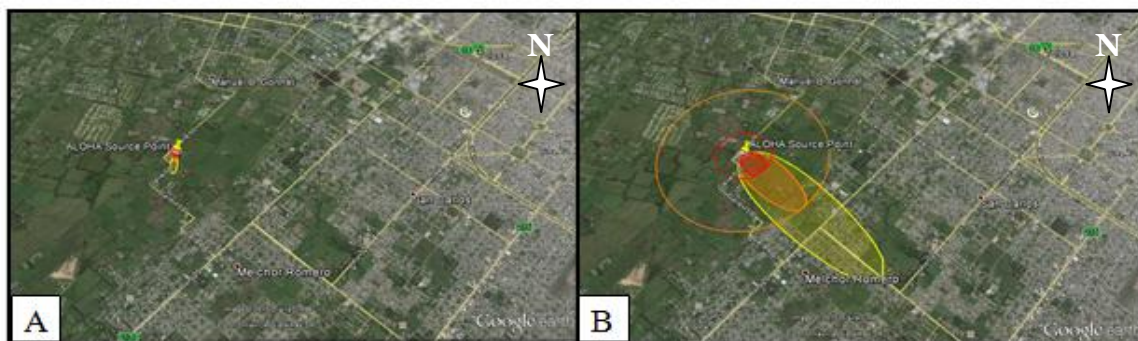


Figura 18. Comparación de escenarios con diferente ubicación del orificio de descarga: (A) Por encima del nivel de llenado. (B) Por debajo del nivel de llenado.

En este ejemplo, la masa total liberada en una hora de emisión es de 1727 kilogramos aproximadamente, en forma de flujo bifásico (gas y aerosol). En tal sentido, esta cantidad triplica la modelada en el mismo escenario pero con el orificio sobre el nivel de llenado, que involucra la fase gaseosa en equilibrio con el líquido del tanque. (Ver Figura 19)

La Figura 20 muestra las tasas de emisión estimadas con la ALOHA para las diferentes ubicaciones del orificio de fuga. Para el caso (B) la tasa de emisión es intensa al inicio, comportándose como una fuga instantánea. Esto se debe a que el tanque almacena el amoníaco presurizado. ALOHA por su parte, puede predecir que escapará directamente a la atmósfera como flujo bifásico (gas y aerosol).

Otra salida de la simulación, es el perfil de concentración (*outdoor*) en función del tiempo desde la emisión, en una coordenada determinada. En la Figura 21, puede apreciarse el mencionado perfil sobre el eje central de la dispersión ($Y=0$) y a 2 km aproximadamente a sotavento ($X=1.83$).

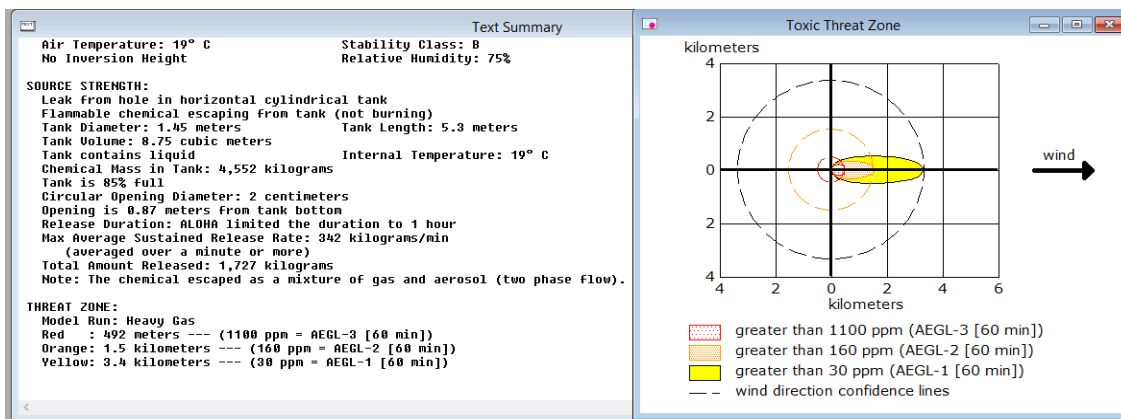


Figura 19: Información de salida: Texto resumen y Gráfico de huella de E1 bajo.

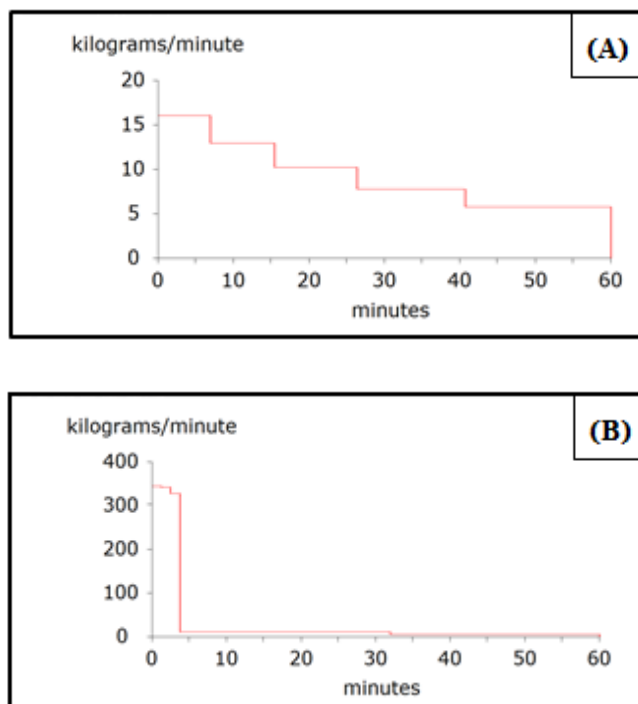


Figura 20: Tasas de emisión (kg min^{-1}) del escape por encima del nivel de llenado (A) y por debajo del mismo (B), en función del tiempo.

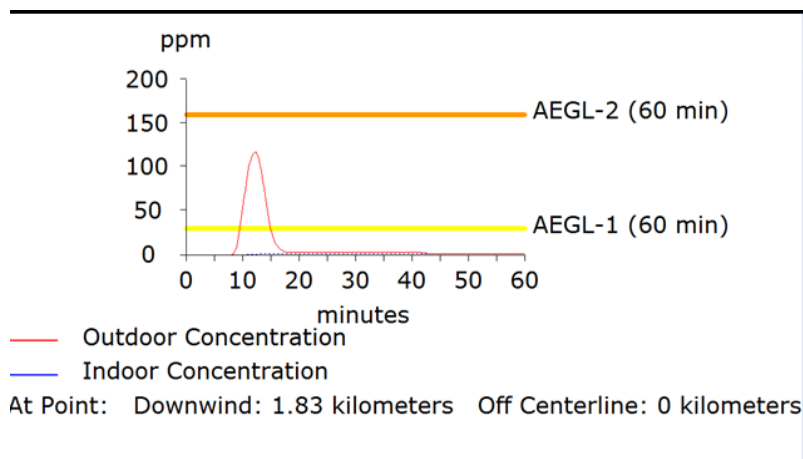


Figura 21: Perfil de concentración estimada en la coordenada (0 m, 1830 m).

Si en forma adicional, se corre ALOHA para el Escenario 4, nuevamente modificando la posición del orificio en el tanque, se observa el mismo comportamiento. Las distancias alcanzadas por la huella de presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Alcance de la Huella de NH₃ liberado de F1 (orificio bajo el nivel de llenado del tanque)

AEGLs	E1 bajo	E4(a)bajo
3	492m	381m
2	1500	1100
1	3400	2600
Estabilidad	B	D

Lo espuesto hasta aquí trata escenarios competentes a un frigorífico ubicado en lo que seha denomina do como zona sub-urbana, *F1*.

Entre las variables a considerar para el estudio de escenarios de riesgo, el tipo de rugosidad es de significancia dada su relación directa con el fenómeno de turbulencia mecánica. De este modo, frigoríficos emplazados en otro tipo de terrenos fueron considerados para su estudio (*F2* y *F3*).

A continuación se muestran las huellas sobre cartografía digital relacionados con *F2*, ubicado en una zona prácticamente llana y/o con obstrucciones dispersas.

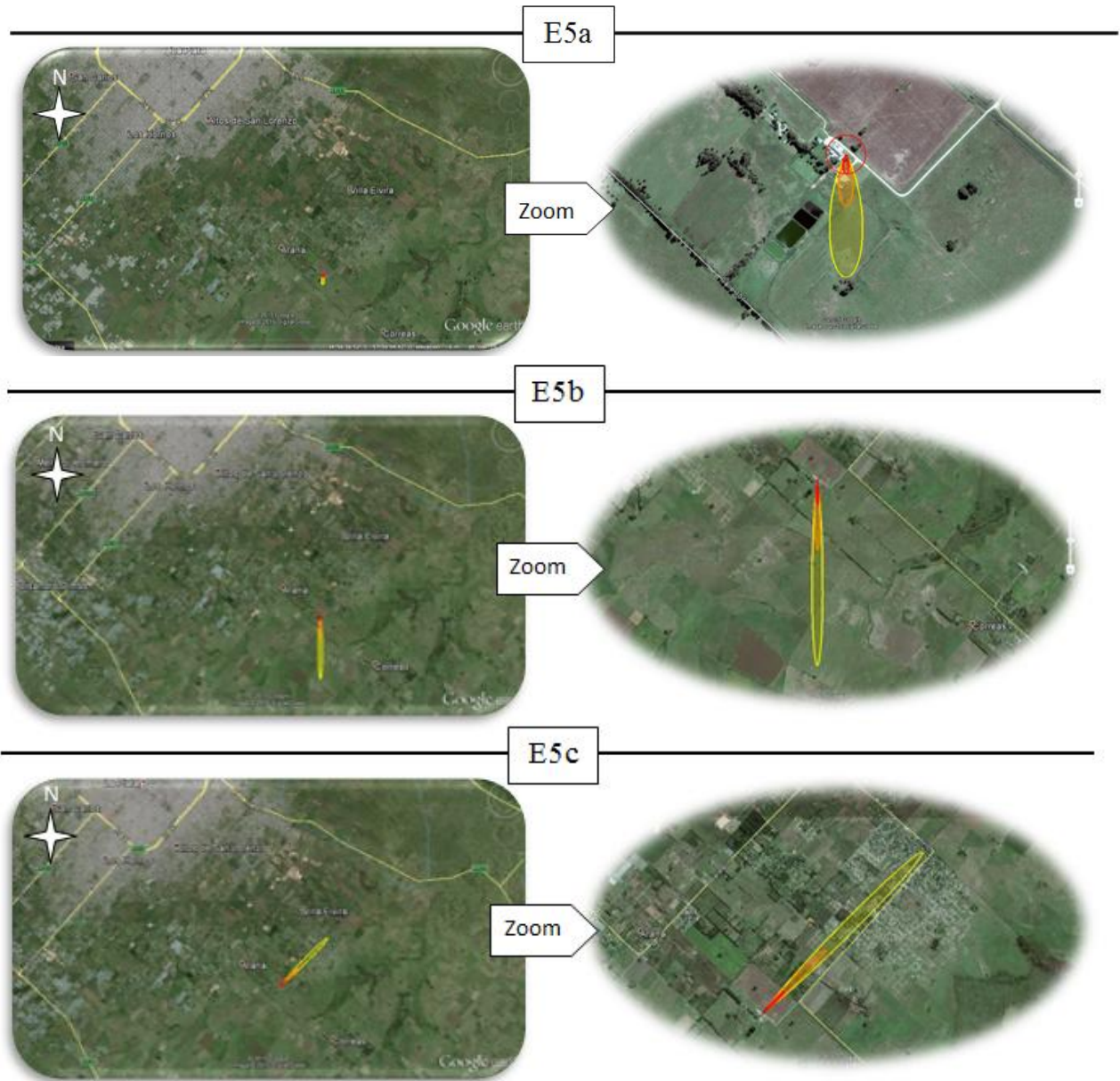


Figura 22: Salidas gráficas de E5, nocturnos, exportadas sobre cartografía digital para F2.

E5: Los escenarios propuestos en la Tabla 5 se complementaron con otros a fin de analizar más profundamente el efecto de la meteorología sobre terrenos con baja rugosidad (escenarios rurales), cuyo índice $Z_0 = 5$ cm. En la Tabla 11 se muestran las distancias de las huellas simuladas con ALOHA.

Tabla 11. Alcance de la Huella de amoniaco liberado en F2 (distancias expresadas en metros). Corridas complementarias a las consideradas en la Tabla 5 y presentadas en la Tabla 6.

AEGLs	E5b (cob.total)	E5b (cob. 90%)	E5b (cob. med)	E5b/c- noche
3	154	239	257	239
2	436	667	717	667
1	1100	1700	1800	1700
Estabilidad	D	E	E	E

E5a: En este primer caso se reproducen las condiciones meteorológicas promedio modeladas en el E1. En la tabla 6 , las distancias correspondientes a los AEGL son similares a las obtenidas con ALOHA en E1. Esto hace suponer que no es la rugosidad el factor que afecta predominantemente a la dispersión en escenarios con índices de rugosidad comprendidos entre 5-20 cm (rurales- suburbanos).

Por su parte, la estabilidad atmosférica en condiciones diurnas depende de las cantidades variables de radiación ingresante a la Tierra. Al ser bajas las velocidades de vientos y pequeños los flujos de radiación ingresante, la actividad convectiva se mostrará moderada (tipo de estabilidad atmosférica B) generando así una capa de mezclado bien desarrollada, y en consecuencia distancias de huella menores.

E5b: Corrida en escenario similar al anterior, pero en horario nocturno. Acompaña una leve variación en humedad y temperatura que representa la fluctuación más frecuente, y se hace nuevamente muy notable la diferencia en las areas obtenidas. Resulta interesante observar como se modifican éstas distancias en función de la cobertura (ver Tabla 11) . Siendo este terreno de características tipo rurales, la extensión de la nube no se verá afectada ni por edificios ni por vegetación elevada. De esta manera, no se manifestará turbulencia mecánica significativa que provoque una marcada dispersión transversal a la dirección del viento. El índice de rugosidad es muy bajo, y las huellas son mayores en longitud pero no en su ancho.

E5c: Imitando al escenario E5b, en esta simulación sólo se altera la dirección del viento. Como consecuencia, ALOHA estima que esta nube alcanzaría a impactar en los alrededores de una zona densamente poblada y con activo crecimiento. Dado que ya se ha visto que en pocas horas las condiciones meteorológicas pueden cambiar drásticamente, no resulta absurdo suponer que se pueda presentar un escenario con esas características.

Finalmente, con el objeto de comparar resultados de la aplicación de ALOHA a eventos no deseados en frigoríficos ubicados sobre centros más poblados, se supuso

un escenario (*E6*) para *F3* con coordenadas geográficas dentro del ejido urbano del conurbano bonaerense, partido Malvinas Argentinas.

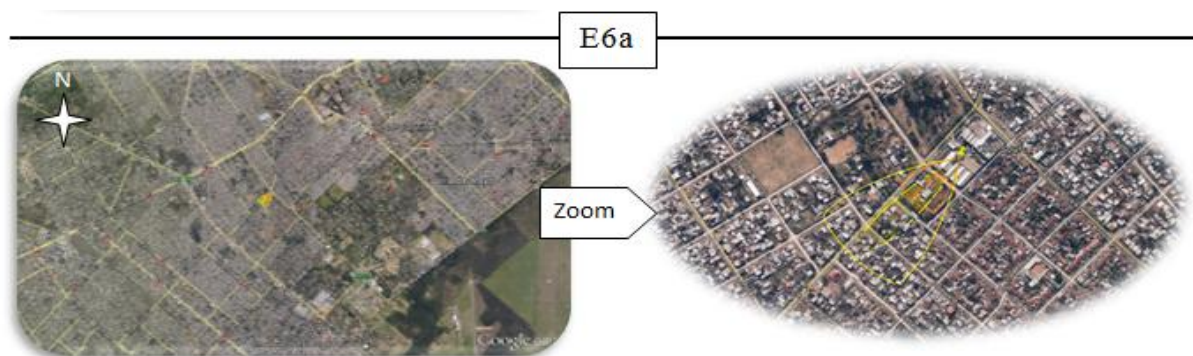


Figura 23. Salidas gráficas de E6a exportadas sobre cartografía digital para F3.

Tratándose *E6a* y *E6b*, de escenarios presentados en el marco de un frigorífico en zona urbana ($Z_0=0.35\text{m}$), la edificación hará que la turbulencia se vea favorecida, y con ella la mezcla de la sustancia tóxica con el aire que la recibe. Siendo más efectiva su dispersión, no es acertado desestimar el impacto pues la población está situada en el entorno inmediato a la fuente.

Para *E6a*, el área que presenta concentraciones de amoníaco superiores al AEGL₃ no es bien estimada por ALOHA dado que, cuando se trata de distancias menores a 100 metros, los modelos de dispersión en los que se basa el software en cuestión ven limitados sus calculos por suposiciones de base que los han formulado.

Si se observa la gráfica de salida de *E6b*, con condiciones meteorológicas tendientes a una atmósfera neutra y vientos leves, el alcance de la huella triplica al del escenario *E6a*.

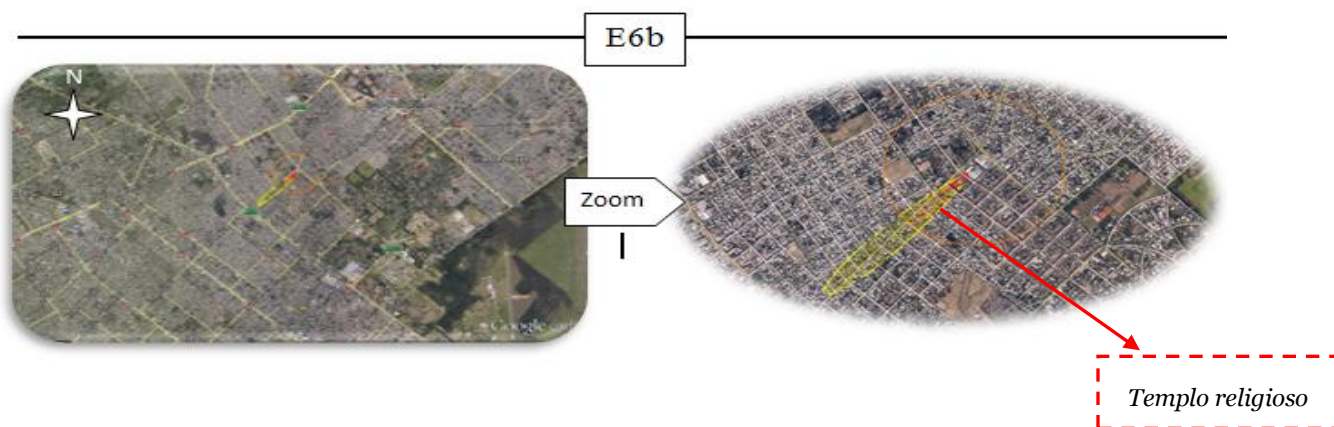


Figura 24: Salidas gráficas de E6b exportadas sobre cartografía digital para F3

4.2.3 Análisis de los impactos

Según el contexto en el que se presente el evento de escape de amoníaco, el análisis de los impactos puede mostrar diferentes matices en cuanto a vulnerabilidades.

Así, por ejemplo, si la fuga se produce durante la madrugada, en zona rural y/o poco poblada puede resultar casi desapercibida, viéndose quizás afectados sólo aquellos trabajadores de la industria involucrada. Sin embargo, si el mismo episodio se diera en zona más urbanizada, se incrementaría considerablemente la cantidad de personas expuestas al tóxico, aún cuando la dispersión fuese significativa.

En horario nocturno, la permanencia de la población dentro de sus hogares genera resguardo ante la nube de amoníaco. Pero si se trata de una zona de construcciones precarias, esta condición no resulta favorable, sino por el contrario incrementa el riesgo por baja respuesta de alerta y reacción de las personas (en oposición a las horas de vigilia).

Si la fuente de emisión se halla instalada en ejido urbano, aunque el alcance de la huella pueda no ser relevante, debe contemplarse que en áreas pequeñas (de tan solo algunas manzanas), los impactos pueden involucrar sitios de aglomeramiento de población, como el templo religioso ubicado a unos 300 metros de la fuente, en dirección del viento, para el escenario *E6b* (ver Figura 24).

Si bien la dispersión en escenarios urbanos es mayor que en escenarios rurales-suburbanos, debido a la estrecha vinculación de la densidad-altura edilicia con la turbulencia mecánica, la densidad demográfica hace a los primeros más vulnerables. Por lo expuesto un análisis detallado y cuidadoso debe llevarse a cabo.

Si de planificación se tratara, al ejecutar ALOHA es posible analizar con mayor profundidad los posibles impactos frente a estos eventos. Esto resulta de gran utilidad, por ejemplo en procesos de ordenamiento territorial. La creciente urbanización de zonas peri-industriales no siempre respeta los límites seguros para construir viviendas, condominios o espacios recreativos. El estudio de escenarios rurales-suburbanos permitiría delimitar diferentes usos del suelo.

4.3 Análisis de fortalezas y debilidades de ALOHA para la gestión de emergencias

ALOHA fue diseñado con el objeto de ser fácilmente utilizado por personal dedicado a la respuesta frente a accidentes químicos. La rápida ejecución representa una de sus mayores **fortalezas**, permitiendo así operar exitosamente

en situaciones de gran tensión. Al predecir cómo una nube de gas peligrosa puede dispersarse luego de una descarga no deseada, facilita la toma de decisiones tendientes a proteger a la población impactada. La sencillez de este programa lo hace una herramienta también interesante al momento de planificar. En tiempos de crecimiento urbano preponderante, la aplicación de ALOHA en escenarios que involucran industrias puede definir las zonas de vulnerabilidad en casos de emergencias químicas.

Sin embargo, presenta ciertas **limitaciones**. A pesar de suministrar información precisa de entrada, los resultados obtenidos con este software pueden ser poco fiables si se dan las siguientes condiciones:

- Velocidades de viento muy bajas
- Condiciones atmosféricas muy estables
- Cambios espontáneos de vientos y efectos de conducción del terreno (valles)
- Desigualdad de concentración, particularmente cerca de la fuente

A pesar de incluir el ZO para las corridas realizadas en este trabajo, en zonas urbanas, las masas de aire al fluir alrededor de diferentes tipos de edificaciones, forma remolinos con cambios de dirección y magnitud de la velocidad del viento, alterando significativamente la forma y el desplazamiento de la nube. Las calles a cuyos lados se alinean grandes edificios pueden generar un patrón de vientos de “cañón de calle” que constriñe y encauza la nube. ALOHA pasa por alto estos efectos.

En vista de que el viento es susceptible de cambiar de dirección y magnitud de la velocidad tanto en el espacio como en el tiempo, se toma como límite no hacer predicciones durante más de una hora después de iniciarse la descarga (hasta 10km).

No se puede predecir con certeza la concentración de gas en ningún instante determinado a favor del viento de una descarga, porque los valores obtenidos son el resultado parcial de lo aleatorio. ALOHA muestra concentraciones que representan promedios en períodos de tiempo de varios minutos (ley de probabilidades).

Por otro lado, este Software podrá ser aplicado sólo en terrenos con características topográficas como las de nuestra zona de estudio (llanura pampeana), dejando sin validez cualquier ejecución sobre escenarios con relieves complejos.

CONCLUSIONES

La planificación de emergencias, junto a los reportes del almacenaje de materiales peligrosos y a la existencia de registros de escapes/derrames de dichas sustancias, constituyen los requisitos básicos para que los estados y las comunidades desarrollen una amplia perspectiva de los peligros químicos para toda la comunidad como también para las industrias. En este contexto, es importante estudiar los peores escenarios que pueden enfrentar una instalación industrial y la población circundante, a fin de optimizar las pautas para reducir las vulnerabilidades.

De la evaluación de las zonas de afectación de potenciales escapes de amoníaco en diferentes territorios y escenarios, en función de condiciones meteorológicas típicas de la región, se concluye que:

- Las condiciones nocturnas pueden calificarse como las más desfavorables respecto a las diurnas para la dispersión atmosférica.
- Para vientos suaves, la estabilidad atmosférica depende fuertemente de la cobertura nubosa en escenarios nocturnos y de la radiación solar incidente en escenarios diurnos.
- Frente a vientos fuertes ($> 17 \text{ km h}^{-1}$), la advección se presenta como el proceso gobernante de la dispersión.
- Las altas temperaturas ambientales manifiestan un impacto mayor (medido en superficie) de la nube tóxica frente a escenarios invernales o de bajas temperaturas atmosféricas.
- El índice de rugosidad se muestra directamente proporcional al grado de turbulencia, por lo que F3 se haya emplazado en una región más propicia para la dispersión que F1 y F2 pero con un entorno más vulnerable que amerita un estudio más cuidadoso y detallado.
- El alcance de las huellas de impacto es mayor para situaciones en donde el orificio de emisión se localiza por debajo del nivel de llenado del amoníaco. Dado que los tanques recibidores suelen estar completo en el 85% del volumen del mismo, es que la superficie probable para sufrir una rotura/perforación en tales condiciones es mayor que la que se encuentra por encima del nivel de llenado.

Por lo expuesto hasta aquí, como punto de análisis tanto para la planificación de eventuales escapes de amoníaco como para el funcionamiento cotidiano de las plantas industriales que utilicen al amoníaco como refrigerante, es importante focalizarse sobre las conclusiones mencionadas para arribar a los escenarios más desfavorables. El análisis de los resultados evidencia las fortalezas y las

limitaciones de ALOHA en el campo de estudio, y alienta al desarrollo de la metodología propuesta para trabajos futuros en el tema.

ALOHA permite limitar las zonas industriales de las urbanizadas. Para aquellas industrias ya insertas en el ejido urbano, es de suma importancia detectar los alcances de una potencial nube tóxica y la población vulnerable al evento, a fin de preparar una respuesta eficiente. Por lo contrario, ALOHA no produce de forma directa una estimación del número de individuos afectados por la nube tóxica, por tanto el empleo de esta herramienta de simulación requiere del procesamiento de los resultados.

Se destaca la aplicación de este software como herramienta para resolver situaciones de emergencias químicas que ponen en riesgo la salud de la población expuesta. Así, definir en pocos minutos el alcance de una nube tóxica, permite una intervención más efectiva al momento de responder y gestionar un evento como los simulados.

Finalmente, para salvar las limitaciones mencionadas sería conveniente utilizar un modelo numérico del tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*) a fin de considerar con un mayor nivel de detalle la complejidad del terreno, las variaciones de parámetros meteorológicos, entre otros.

REFERENCIAS

- 1- Sánchez EY. (2012) *Tesis de Doctorado* aprobada en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2779>, julio 2015.
- 2- OPS.OMQ (1998) Accidentes Químicos: Aspectos relativos a la salud. Guía para la preparación y respuesta. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud y el Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre. Organización Panamericana de la Salud. OPS/OMS.
- 3- Lindell MK., Prater CS., Perryen RW. (2006) Hazard, Vulnerability, and Risk Analysis. Chapter 6 en: Fundamentals of Emergency Management. FEMA Emergency Management Institute. Disponible en: <http://training.fema.gov/hiedu/aemrc/booksdownload/fem/>, accedido en julio 2015.
- 4- Proyecto Esfera. Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria. Tercera edición 2011. ISBN 978-1-908176-02-8. Disponible en: http://www.sphereproject.org/component/option,com_docman/task,catalog_view/gid,46/Itemid,203/lang,spanishf/, accedido en julio de 2015.
- 5- Albiano N. (2011) Toxicología laboral. Criterios para el monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Superintendencia del Riesgo del Trabajo. Disponible en <http://www.srt.gob.ar/adjuntos/toxicologia/libroalbiano.pdf>, accedido en junio 2015.
- 6- Cutter, S. (1996). Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geogr., 20, 529-539.
- 7- Lindell, M.K. & Prater, C.S. (2003). Assessing community impacts of natural disasters. Natural Hazards Review, 4, 176-185.
- 8- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Cruz Roja Argentina. Documento País 2012. Riesgo de desastres en Argentina. (2012) Disponible en: http://www.msal.gov.ar/salud-y-desastres/images/stories/4-biblio-recursos/pdf/2014-04_documento-pais.pdf, accedido en julio de 2015.
- 9- Centro de Información Química para Emergencias (CIQUIME). Accidentes con sustancias químicas en Argentina. Informe Estadístico 1991-1998. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2005/pdf/spa/doc11470/doc11470-contenido.pdf>, accedido julio de 2015.
- 10- U.S. Environmental Protection Agency (1987). Technical guidance for hazards analysis: Emergency planning for extremely hazardous substances. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- 11- ALOHA. Disponible en <http://www2.epa.gov/cameo/aloha-software>, julio de 2015.

- 12- Ruiz Boada F., González Ferradas E., Miñana Aznar A. (2003). Zonas de Planificación para accidentes graves de tipo tóxico. Guía técnica (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II]). Murcia: Universidad de Murcia.
- 13- Mazzola C. y Addis R. (1995) Atmospheric Dispersion Modeling Resources. U.S, Dep. of Energy, Emergency Management Advisory Committee, Subc. on Consequence Assessment and Protective Actions and Oak Ridge Associated Universities.
- 14- Less FP. (2001) Loss Prevention in the Process Industries. Vol 1. Butterworth Hernemann. Oxford.
- 15- Lakes Environmental. Disponible en: http://weblakes.com/products/emergency_release.html, accedido en 2015.
- 16- National Oceanic and Atmospheric Administration, Hazardous Materials Response and Assessment Division (NOAA-HMRAD). (1992) ALOHA, 5.0 Theoretical Description, Contribution No. HMRAD 92-5, draft report, Seattle. WA.
- 17- NOAA-HMRAD and United States Environmental Protection Agency, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office. (1992) ALOHA User's Manual, National Safety Council, Washington, D.C.
- 18- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Análisis de herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de responsabilidad medioambiental.
- 19- Mazzoldi A., Hill T., Colls J. (2008) CFD and Gaussian atmospheric dispersion models: A comparison for leak from carbon dioxide transportation and storage facilities. Atmospheric Environment 42 8046–8054.
- 20- Tseng JM., Su TS., Kuo CY. (2012) Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA. Procedia Engineering 45 384 – 389.
- 21- Bernatik A., Zimmerman W., Pitt M., Strizik M, Nevrlly V., Zelinger Z. (2008) Modelling accidental releases of dangerous gases into the lower troposphere from mobile sources. Process Safety and Environment Protection 86: 198–207.
- 22- Shao H., Duan G. (2012) Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant. Procedia Engineering 45: 352 – 359.
- 23- Reglamento CIRSOC 102. (1994) Acción del viento sobre las construcciones. Ed. INTI.
- 24- Hurtado M. (2006) Análisis Ambiental del Partido de La Plata: Aportes al ordenamiento territorial. 1ºEd. Consejo federal de Inversiones.
- 25- Consejería de Sanidad de Dirección General de Salud Pública, región de Murcia. (2007) Riesgo químico-Accidentes graves: Amoniaco (Anhidro). Disponible en: www.murciasalud.es/recursos/ficheros/98260-Amoniaco, accedido en junio de 2015.

- 26- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2005) Ficha Internacional de Seguridad Química: Amoníaco (Anhidro). Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/401a500/nspn0414.pdf> , accedido en junio de 2015.
- 27- U.S Department of Transportation (DOT), Transport Canada (TC), Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), Centro de Información Química para Emergencias de Argentina (CIQUIME). (2012) Guía de Respuesta en caso de Emergencia. Disponible en: <http://www.ciquime.org.ar/gre2012.html>, junio 2015.
- 28- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, National Research Council. (2001) Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals. Washington, DC, National Academies Press.
- 29- American Industrial Hygiene Association, Emergency Response Planning (ERP) and Workplace Environmental Exposure Level (WEEL) Committees. (2007) Emergency Response Planning Guidelines (ERPG) & Workplace Environmental Exposure Levels (WEEL) Handbook. Washington, DC, AIHA.
- 30- Craig DK y Lux CR. (1998) Methodology for Deriving Temporary Emergency Exposure Limits (TEELs). Westinghouse Safety Management Solutions. Aiken, SC: U.S. Westinghouse Savannah River Company, WSRC-TR-98-00080.
- 31- Craig DK, Davis JS, Hansen DJ, Petrocchi AJ, Powell TJ, Jr. Tuccinardi TE. (2000) Derivation of Temporary Emergency Exposure Limits (TEELs). Journal of Applied Toxicology. 20: 11-20.
- 32- U.S. EPA. Acute Exposure Guideline Levels. Disponible en: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/>, accedido en junio de 2015.
- 33- Stage SA. (2004) Determination of acute exposure guideline levels in a dispersion model. Journal Air Waste Management Association. 54: 49–59.
- 34- U.S. Environmental Protection Agency. (1997) National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for Hazardous Substances. Fed. Regist. 62 (210).
- 35- U.S. Environmental Protection Agency. (2000) National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for Hazardous Substances; Proposed AEGL Values. Fed. Regist. 65 (51), 14186-14197.
- 36- U.S. Environmental Protection Agency. (2001) National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for Hazardous Substances; Proposed AEGL Values. Fed. Regist. 66 (85), 21940-21964.
- 37- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2000) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 1; National Research Council: Washington, DC.

- 38- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2002) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 2; National Research Council: Washington, DC.
- 39- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2003) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 3; National Research Council: Washington, DC.
- 40- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2004) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 4; National Research Council: Washington, DC.
- 41- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2007) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 5; National Research Council: Washington, DC.
- 42- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2008) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 6; National Research Council: Washington, DC.
- 43- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2009) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 7; National Research Council: Washington, DC.
- 44- Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology. (2010) Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8; National Research Council: Washington, DC.
- 45- U.S.EPA. AEGL Program: Ammonia. Disponible en: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/results88.htm>, accedido en junio 2015.
- 46- U.S.EPA. (2001) Hazards of Ammonia Releases at Ammonia Refrigeration Facilities
- 47- Vio Ulloa J. (2012) Guía uso y manejo de amoníaco en la Refrigeración de frutas y hortalizas frescas: Plan de Emergencias. Ministerio de Agricultura/ Ministerio de Trabajo y Previsión Social.
- 48- González Pérez R. (2013) Capítulo 16: Amoníaco. En: Criogenia: Cálculo de equipos. Recipientes a presión. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. ISBN 9788499695150.
- 49- Ockerman HW. and Hansen CL. (1999) Animal By-Product Processing & Utilization. CRC Press. ISBN 9781566767774

ANEXO I

Tabla 1: Resumen de accidentes relevados de fuentes periodísticas (diarios). B.A: Buenos Aires; (*)Personas afectadas incluye: muertos, heridos y expuestos.

Sustancia involucr.	Lugar	Fecha	Cant.	Tipo de Incidente	Fuente	Personas Afectadas
Ac. Acético	B.A.	25/11/1993	-	Escape	Fábrica	70(*)
(Cianuro, As, Pb, Ni, Cd) Residuos tóxicos de un dique de colas de una mina	Mina de Porco	29/08/1996	-	Derrame		3
Ac. Cianhídrico	Moreno B.A.	13/05/1998	-	Escape	Fábrica, Promax S.A	Evacuados (casas, linderas y escuelas)
Ac. Cianhídrico	Avellaneda, B.A.	27/09/1993	-	Escape	Vía pública	10017
Ac. Clorhídrico	Arribeños, B.A.	04/04/2001	1000 lt	Derrame	Ruta 65	3000
Ac. Clorhídrico	Esteban Echeverría, B.A..	07/04/2006	80 lt	Derrame	Fisura en tanque cisterna	S/D
Ac. Clorhídrico	Esteban Echeverría, B.A.	05/04/2006	10000 lt	Derrame	Pérdida en tanque cisterna	503
Ac. Clorhídrico	Mosconi, SALTA	27/01/2007	500 lt	Derrame	Perforación en tanque cisterna	6 familias
Ac. Clorhídrico	Allen, RIO NEGRO	08/01/2007	8000 lt	Derrame	Vuelco de camión en vía pública	20 familias evacuadas
Ac. Clorhídrico	Lújan de Cuyo, MENDOZA	12/06/2006	500 lt	Derrame	Fábrica de productos químicos	Vecinos y alumnos evacuados
Ac. Clorhídrico	Pergamino, B.A.	15/11/1998	20000 lt	Derrame	Camión en vía pública	S/D
Ac. Clorhídrico	La Plata, B.A.	02/07/2007	-	Derrame	Vuelco de camión en vía pública	S/D

Ac. Fosfórico	Mar del Plata, B.A.	19/12/2002	2000 lt	Derrame	Vuelco de camión en vía pública	Evacuados (varios negocios)
Ac. Fosfórico	Gral. Paz, B.A.	21/11/2000	4 bidones	Derrame	Camión en vía pública	0
Ac. Nítrico	B.A.	17/11/1993	25 lt	Derrame	Depósito	31
Ac. Sulfúrico	Ituzaingó, B.A.	11/10/1993	60 lt	Derrame	Vía pública	S/D
Ac. Sulfúrico	Lomas, B.A.	31/03/2005	1 tambor plástico	Escape	Planta de tratamientos de residuos especiales	24
Acetileno	B.A.	25/11/1993	50 lt	Escape	Depósito	10
Amoniaco	Constitución, B.A.	05/05/2006	-	Escape	Frigorífico	0
Amoniaco	Lomas de Zamora, B.A.	28/01/2001	-	Escape	Escape en frigorífico	2
Amoniaco	Boedo, B.A.	07/01/2006	-	Escape	Ruptura de red de cañerías por derrumbe en fábrica de hielo	313
Amoniaco	Avellaneda, B.A.	15/02/2004	-	Escape	Escape en frigorífico	33
Amoniaco	Bahía Blanca, B.A.	08/11/2000	-	Escape	Escape de Profertil	58
Amoniaco	Bahía Blanca, B.A.	28/08/2000	-	Escape	Escape de Profertil	60
Amoniaco	SALTA	22/02/2007	-	Escape	Rotura en una válvula de una cervecería	S/D
Amoniaco	B.A.	28/03/2007	-	Escape	Explosión de un caño	10
Amoniaco	Lules, Tucumán	25/05/2007	-	Escape	Fuga en exportadores de frutas Frutivil	Varios vecinos evacuados
Amoniaco	Bahía Blanca, B.A.	07/02/2007	-	Escape	Escape de Profertil	0
Amoniaco	Rawson, CHUBUT	30/01/2007	-	Escape	Escape de pesquera Iberpesca	S/D
Amoniaco	Lomas de Zamora, B.A.	11/02/2006	-	Escape	Escape en frigorífico	4
Amoniaco	Caseros, B.A.	26/01/2001	-	Escape	Escape en fábrica de hamburguesas congeladas	10 + 1 manzana de población + empleados

Amoniaco	Gral. Pacheco, B.A.	02/09/1993	-	Escape	Fábrica	S/D
Barro mineralizado en bruto en mina de oro	El Carrizal, CATAMARCA	10/06/2006	Mancha de 280 m de largo, 10 cm de profundidad y 15m de ancho	Derrame	Fisura en mineraloducto	S/D
Barro mineralizado en bruto en mina de oro	Entre Dtos. De Beñén y Andagalá	14/12/2006	-	Derrame	Fisura en mineraloducto	S/D
Benzoato de bencilo	B.A.	08/10/1993	-	Escape	Fábrica	21
Bifenilos policlorados	Villa Constitución, SANTA FE	01/11/1993	-	Derrame	Fábrica	S/D
Cianuro de sodio	Córdoba	22/11/1993	-	Escape	Escuela	41
Cloro	Ing. White, B.A.	20/08/2000	-	Escape	Planta química	0
Cloro	Escobar, B.A.	11/05/2001	-	Escape	-	99
Cloro	Marcos Paz, B.A.	17/09/1993	23 lt	Escape	Depósito	24
Cloro	Pilar, B.A.	26/03/1992	5000 Kg	Escape	Planta química	S/D
Cloruro de Tionilo	Paso de los Libres, CORRIENTES	17/06/1991	600 lt	Escape	Camión en terminal de ómnibus	60
Combustible para aviones	Ezeiza, B.A.	00/12/2002	-	Derrame	Filtración de depósito combustible	S/D
Dióxido de Azufre	Río Segundo, CORDOBA	30/11/1992	5000 Kg	Escape / Explosión	Planta de "Del Maíz"	84
Etanol	Centeno, SANTA FE	15/12/1993	26000 lt	Derrame	Vía pública	S/D
Fenol	Dock Sud, B.A.	26/10/2001	-	Escape	Barco en puerto	9 + evacuados (una escuela)
Formol	Bursaco, B.A.	22/05/2007	250 lt	Derrame	Fábrica induquímica	0
Fosgeno	Río Tercero, CORDOBA	12/06/2007	-	Escape	Fábrica	4

Gas Oil	Curva de Nicho, MENDOZA	15/09/1992	9500 lt	Derrame	Camión de YPF	700000
Gas Oil	Villa Langostura, NEUQUEN	12/06/2003	7000 lt	Derrame	Central termoeléctrica	S/D
Hidrocarburos	Quilmes, B.A.	2004	300000 lt	Derrame	Pérdida de conducto de Repsol	S/D
Insecticida organosforado	Mendoza	04/12/1993	-	Robo de frutas	-	S/D
Mercatal o mercaptano	Capital Federal	30/12/1999	-	Escape	Vía pública	S/D
Metil etil cetona	Gral. Rodriguez, B.A.	12/11/1993	35000 lt	Derrame	Vía pública	S/D
Nafta	B.A.	05/12/1993	26000 lt	Derrame	Vía pública	S/D
Petróleo	Magdalena, B.A.	15/01/1999	5200 Tn	Derrame	Costa de Magdalena	S/D
Petróleo crudo	Gral. Roca, RIO NEGRO	27/06/2007	Escape de un ducto a lo largo de 3 Km	Derrame	Vía pública (Ruta Prov. 6)	S/D
Resina acrílica fosforada	La Boca, B.A.	15/06/2005	-	Derrame	Camión de vía pública	o
Solventes	Carapachay, B.A.	02/10/2003	-	Explosión	Planta química	15
TNT	Río Tercero, CORDOBA	03/11/1995	-	Explosión	Planta	318

ANEXO II

Tabla 1: Listado de Industrias seleccionadas. En color amarillo se pueden observar aquellas que se geo-referenciaron.

Rubro	Razón Social	Dirección
Calcinación de coque y complejo ferropuerto	Copetro S.A.	Ortiz de Rosas S/N- Puerta Nro.1 Puerto-La Plata
Central termoeléctrica	Energía Argentina S.A.	Ruta Prov. 11 (Av. Domingo Mercante) y Canal A° El Gato
Central termoeléctrica	Central dique S.A	Camino Vergara y 130
Central Termoeléctrica	Sullair Argentina S.A.	528 S/N°
Central termoeléctrica	La Plata Cogeneración S.A	Baradero Nro. 777
Disposición final de residuos domiciliarios	CEAMSE	Diag. 74 y Arroyo El Gato (ENSENADA)
Elaboración de aceites, grasas de origen vegetal y animal	Familia Colanero S.A.	520 lote 4
Elaboración de aceites, grasas de origen vegetal y animal	Rolidar S.R.L.	Calle 27 Nro. 2346 e/ 508 bis y 509
Elaboración de concreto asfáltico y hormigón	BALPALA CONSTRUCCIONES S.A.	69 y 123
Elaboración de hormigón y cemento asfáltico	Briales SA	131 e/ 521 y 520
Elaboración de mezclas asfálticas, hormigón, obras civiles y viales	OCSA S.A.	197 E/515 y 517 S/N
Extracción y Acabado de Aluminio y sus Aleaciones	Metales el Talar S.A.	Calle 518 entre 12 y 13
Extrusión de plástico	Royal Group technologies del sur SA	1 - Interior nro. 1 Ruta 2 km 55
Fábrica de Cojinetes	Federal Mogul Argentina S.A.	Camino General Belgrano Km. 6,5
Fábrica de ladrillos refractarios.	Silma S.A.	Calle 34 Nro.44 e/11 y 12
Fábrica de productos asfálticos	Emapi S.A.	Calle 520 esq. 200
Fabricación de adhesivos	Adhesivos Parsecs S.A.	511 Nro. 3815
Fabricación de autopartes	Taranto S.A.	Av. Arana Nro.1720
Fabricación de chacinado	Lefag S.R.L.	45 Nro. 5170
Fabricación de concreto asfáltico y hormigón	Hormigonera Troncaro S.A.	calle 31 e/ 517 y 518
Fabricación de drogas y med.	Laboratorio Intern. Arg. S.A.	Calle 519 Nro. 1 -Pque.Industrial LP

Fabricación de fieltros asfálticos y membranas asfálticas	Rubertech Sociedad de Hecho (ex- Macrisa)	Montevideo (entrada playa Bagliardi)
Fabricación de Gases Licuados	Air liquide Argentina S.A.	Camino Gobernador Vergara Km. 3,5
Fabricación de ladrillos huecos	Ceramica Ctibor S.A.	Calle 8 S/N°, Ruta Nac. 2 KM. 55
Fabricación de ladrillos, mosaicos y baldosas	Cerámica Fanelli S.A.	66 S/N° e/ 177 y 179
Fabricación de papel	COOPERATIVA DE TRABAJO UNION PAPELERA PLATENSE LTDA (ex PAPELERA SAN JORGE S.A.I.C. Y F.)	Camino Centenario entre 514 y 515
Fabricación de partes para motocicletas	SODECIA ARGENTINA SRL	232 bis s/n
Fabricación de Partes, Piezas y Accesorios para Motores	COMPAÑIA INTEGRAL DE JUNTAS Y AFINES S.A.C.I. Y F.	Avenida Arana entre Calle 14 y 15
Fabricación de pinturas para cueros, ligantes, lacas, ducos y adhesivos	ADELFA S.R.L.	Calle 173 esq. 526
Fabricación de pinturas, barnices y lacas	Coryca S.R.L.	Marsella y Entre Muros Poligono Industrial Berisso S/N Galpon 80A
Fabricación de pinturas, impermeabilizantes y revestimientos	Ligantex S.R.L.	Avenida 520 e/ 183 y 185
Fabricación de plásticos y resinas sintéticas	Petroken Petroquímica Ensenada S.A.	Con.Gdor.Vergara s/n Km. 2
Fabricación de Productos Alimenticios	PROTENAT ARGENTINA S.H	Calle 7 esq.92 Nro. 2947
Fabricación de productos de asfalto	IND. ASFALTICAS SAN JOSE S.R.L	CALLE 41 N°3668
Fabricación de productos de asfalto	ICF S.A.	Calle 135 y 519
Fabricación de Productos de Panadería, Repostería y Pastas con Venta al Público y a Terceros	CARREFOUR ARGENTINA S.A.	Camino Gral Belgrano entre 514 y 517
Fabricación de productos derivados de Petróleo	YPF POLIBUTENOS (EX BRIDAS)	Con.Vergara Km.7,5 s/N°
Fabricación de productos lácteos	Carnevali Hnos.S.A.	Avda 520 y 209 Nro.11410
Fabricación de productos plásticos	Albano Cozzuol S.A.	12 S/Nro. e/ 517 y 518
Fabricación de productos plásticos	Industria del Plastico y Metalurgica Albano Cozzuol S.A.	Cno. Centenario y 518

Fabricación de productos plásticos para la industria	Ind del Plást y Metal Albano Cozzuol S.A PLANTA 3	518 e/12 y Camino Centenario
fabricación de secciones metálicas de buques y gabarras	ENTE ADMINISTRADOR DE ASTILLERO RIO SANTIAGO	Hipolito Irigoyen y Don Bosco S/N°
FABRICACION DE SUST. QUIMICAS Y BASICAS, NITROGENO LIQUIDO Y GASEOSO	AIR LIQUIDE ARGENTINA S.A	CAMINO ALTE BROWN S/N PREDIO SIDERAR
Fabricación de velas y fósforos	Compañía General de Fósforos Sud Americana S.A.	calle 67 1 y 115
Fabricación y Fraccionamiento de Agroquímicos	Gleba S.A.	Av. 520 y Ruta Prov. 36
Fabricación y Fraccionamiento de Productos Químicos	SPAHR LEFF S.A.	Calle 28 Esq.509
Fabricación y fraccionamiento de productos químicos	Sabinur S.A.C.I.F.I.A.	190 e/ 44 y 45
Fabricación y reparación de embalajes de madera con tratamiento Térmico	C. & V. Embalajes y Servicios SA	511 y 237 S/Nro.
Forjado y estampado	Estibadas S.R.L.	Ruta 29 Km 4
Forjado y Estampado de Hierro	MORO HERMANOS S.A.	31 Nro. 2401 esq. 508
Fraccionado y envasado de GLP	GIAC Gas S.A.	Mosconi S/N
Fraccionador, expendedor, distribuidor de vegetales y hortalizas	Lácteos de Poblet S.A	Ruta Nro 36-altura calle 630
Fraccionamiento de agroquímicos	Ninive S.A.C.I.F.I.A.	531 S/Nro. entre 146 y 147
Frigorífico	FRIGORÍFICO GORINA S.A.I.C.	Calle 501 S/N
Fundición	Establecimiento Metalurgico Ensenada S.R.L.	Güemes esquina camino Rivadavia
Fundición de hierro y acero	Acerías Berisso S.A.	128 N° 1428
Fundición de metales ferrosos y no ferrosos	Domeniconi Microfusión S.R.L.	Parque Industrial de Berisso Calle 66
Fundición y manufactura de Aluminio	Aluar Aluminio Argentino S.A.I.C.	Ruta Nacional Nro. 2 Km. 54
Fundición, Extrusión y Trefilación de Latón	Cembrass S.A	Calle 31 Nro.570
Galvanoplastia y Cromado	CROMODURO INDUSTRIAL S.A.C.I.S.F.	Camino General Belgrano entre 517 y 518
Generación de Energía Eléctrica	CMS ENSENADA S.A.	Baradero Nro. 777
Hilados Sintéticos Poliamídicos y Polímeros de Caprolactama	Sniafa S.A.I.C.F.e I.	Calle 508 Nro.1531

Industria Metalúrgica	CREUSO HNOS. S.A.	calle 148 e/ 32 y 531 s/n
Industria Petroquímica	YPF PLP	Av. Gdor. Vergara Km.2,7
Industria petroquímica	S.A. GAROVAGLIO Y ZORRAQUIM (IPAKO)	Camino Humet s/n
Inyección de Plástico y Esterilizado - Montaje de Componentes	CASA PI-RO S.A.	Camino General Belgrano Esq. 10 s/n
Laboratorio de análisis ambientales	Laboratorio Científico y Ambiental S.A.	Calle 526 Nro. 1510 P.Baja
Laboratorio de especialidades medicinales	Laboratorios Bago S.A.	Calle 455 e/ 26 y 27 S/Nro.
Laminación en frío de chapa de acero	Siderar S.A.I.C. Planta Ensenada	Avenida Almirante. Brown S/Nº
Lavadero de ropa sanitaria	Sistema Burbujas S.R.L.	44 Nro. 2222
lavadero industrial	Camardo Anibal Francisco	Ferella Nro. 815
lavadero industrial de ropa gastronómica y de hotelería	Blasetti, Roque Javier	43 bis Nro. 143
Lavadero Industrial de ropa gastronómica y hotelera	Rapijet S.A.	calle 56 Nro.1872
Lavadero industrial de ropa gastronómica y hotelería	Cordoba Julian	calle 120 Nro.48
Lavadero industrial de ropa hotelera y gastronómica	Chavez Maria Eugenia	152 Nro. 651
Lavadero industrial de ropa nueva	Sosa, Teodoro Raimundo	calle 13 bis Nro.1331
Lavadero y molienda de conchilla	Domingo Gonzalez Y Cia S.A.	Montevideo S/Nro.
Masterbatches y Compuestos Fabr.de Art.plásticos N:C:P:	Petroplásticos Luis H.Massa	Av. 161 Esq. 516 S/N
Matadero y frigorífico	Matadero y frigorífico Raúl A. Remorini	Calle 659 y 132
Matanza de animales, preparación y conservación	Frigolar S.A	Avenida 520 esq. 214
Material rodante ferroviario	Alstom Argentina S.A.	56 Nro. 2100
Molino de granos	S.A.Miguel Campodónico L.T.D.A.	Calle 58 e/ 1 y 2
Molinos cerealeros y harineros	Agricola del Plata S.A.	calle 44 Nro. 3556
Petroquímica La Plata	YPF s.a	Avda.Gdor.Vergara Km.2,7
PETROQUIMICO	MALEIC S.A.	Av. Humet y Con. Mosconi
Planta compresora de gas	T.G.S. S.A.	Ruta Provincial 6 Km 16
Planta de Elaboración de Asfalto	MACRISA PROASFAR	Av.Montevideo y Entrada Playa Bagliardi

Planta de Purificación y Compresión de Hidrógeno	Air Liquide Argentina S.A.	Camino Gobernador Vergara Km. 7,5
Planta elaboradora de asfaltos	HIDRACO S.A.	520 e/27 y 28
Prelavado de pantalones de tela de jean	Blu Proces SRL	calle 4 Nro 1272
Producción de biológicos	Inmunovet S.R.L	Ruta 36 esq. Calle 78
Producción de gases del aire	Gases de Ensenada S.A.	Camino Rivadavia Km 2,5
Recuperación y reciclado de materiales plásticos	Amiplast S.A.	Ruta Pcial. 215. Ing. Humet s/n
Refinería	YPF S.A Refinería La Plata	Baradero S/N
Supercentro Comercial con Elaboración Propia	WAL MART ARGENTINA S.A.	Av. Centenario Nro. 1875
Transporte de personas	El Rápido Argentino Cia. De Mosa	Calle 131 esq. 522
Tratadoras y centros de disposición final de residuos domiciliarios y con características asimilares	Conestoga Rovers y Associates capital Limited sucursal argentina	Diagonal 74 y canal del gato
Tratamiento de residuos patogénicos	Lamcef S.A.	Avenida 90 entre 194 y 195
Venta de combustible liquido	Combustibles Alonso y Cia.	Camino centenario y 514
Venta de combustibles	Combustibles Alonso y Cia.	Diagonal 74 y 36

ANEXO III

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICA

Información general:

Gas ligeramente coloreado a temperatura ambiente. Olor Picante, sofocante.

Información importante en relación con la seguridad:

PH en solución acuosa al 1%	6-11.7
Punto/intervalo de ebullición, °C	-33
Punto de inflamación, °C.....	No disponible
Límite inferior de explosividad, % vol.....	15
Límite superior de explosividad, % vol.....	28
Presión de vapor a 20 °C, hPa (mbar).....	10130
Densidad relativa del líquido a -33°C (agua=1).....	0.68
Solubilidad en agua a 20 °C, g/100ml.....	34
Densidad relativa de vapor (aire=1)	0.59 ²
Miscibilidad Soluble en alcohol, cloroformo y éter.	
Punto/intervalo de fusión, °C.....	-78
Temperatura de ignición espontánea, °C	651
Fórmula molecular	NH ₃
Peso molecular	17.03

El producto es térmicamente estable en las condiciones normales de almacenamiento. El aporte de calor puede causar la vaporización del líquido.

² En presencia de vapor de agua o a bajas temperaturas se espera un comportamiento anómalo, pudiendo llegar a tener una densidad relativa superior a la unidad